

Resumen

El proyecto se refiere a la Central Nuclear de Vandellós II y utiliza los modelos de análisis dinámicos disponibles para estudiar escenarios de comportamiento transitorio de la planta. La Central Nuclear de Vandellós II a lo largo del tiempo transcurrido desde su puesta en servicio, ha sufrido diversas modificaciones importantes que han generado distintas configuraciones de la planta. A continuación se describen y analizan las distintas configuraciones por las que ha pasado la central y se obtienen los modelos correspondientes para la obtención de los estados estacionarios con la simulación del programa Relap5/Mod3.2. Posteriormente se simula un transitorio real de planta, ocurrido en la Central Nuclear de Vandellós II, para cada configuración obtenida. Se comparan los resultados con los datos reales de planta y con la simulación del mismo transitorio utilizando una configuración existente, con la finalidad de verificar la mejora de los resultados obtenidos si se simulan los transitorios a partir de los nuevos estados estacionarios. Se crea una matriz donde se comprueba que con la simulación de los nuevos transitorios y la comparación de los datos reales de planta, se ha ampliado la base de datos para el ajuste de componentes del modelo de planta actual. Finalmente se crea el programa “Modificar”, el cual permite obtener el modelo de planta de cualquier configuración con la cinética deseada de una forma automatizada.





Índice

RESUMEN	1
ÍNDICE	3
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Objetivos del proyecto	7
1.2. Alcance del proyecto	7
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES	9
2.1. Descripción de la Central Nuclear Vandellós II	9
2.1.1. Introducción	9
2.1.2. Combustible	10
2.1.3. Barras de control	10
2.1.4. Circuito primario	11
2.1.5. Circuito secundario	11
2.1.6. Circuito de refrigeración	11
2.1.7. Sala de control	12
2.1.8. Recargas	12
2.2. Descripción del código de cálculo Relap5/Mod.3.2	12
2.3. Descripción del modelo de planta de la CNV II	14
3. ANÁLISIS DE LAS CONFIGURACIONES DE LA CNV II	19
3.1. Introducción	19
3.2. Configuración 1	20
3.2.1. Sistema de agua de alimentación	20
3.2.2. Potencia térmica nominal	29
3.2.3. Cambios a realizar	29
3.3. Configuración 2	31
3.3.1. Válvulas del sistema de agua de alimentación principal	31
3.3.2. Sistema de control de las válvulas del AAP	31
3.3.3. Potencia térmica nominal	32
3.3.4. Cambios a realizar	33
3.4. Configuración 3	33
3.4.1. Cambios en el primario	33
3.4.2. Cambios en el secundario	34
3.4.3. Conclusión	34
3.5. Configuración 4	34



3.6. Creación de inputs para las configuraciones	34
4. TRANSITORIOS	35
4.1. Aislamiento de vapor principal inadvertido	36
4.1.1. Estacionario	37
4.1.2. Transitorio	37
4.1.3. Análisis y comparación de resultados	38
4.1.4. Conclusión	43
4.2. Disparo de una turbobomba de agua de alimentación principal	44
4.2.1. Estacionario	44
4.2.2. Transitorio	45
4.2.3. Análisis y comparación de resultados	46
4.2.4. Conclusión	51
4.3. Disparo de reactor y disparo de turbina	52
4.3.1. Estacionario	52
4.3.2. Transitorio	53
4.3.3. Análisis y comparación de resultados	54
4.3.4. Conclusión	59
5. MATRIZ DE CUALIFICACIÓN	61
5.1. Estructura de la matriz de cualificación	61
5.2. Matriz de cualificación para el caso de la CNV II	62
5.3. Ejemplo de un ajuste de un componente	64
6. PROGRAMA “MODIFICAR”	69
6.1. Introducción	69
6.2. Descripción del programa “Modificar”	69
CONCLUSIONES	73
AGRADECIMIENTOS	75
BIBLIOGRAFÍA	77
Referencias bibliográficas	77



ANEXO A INPUTS PARA CONFIGURACIONES

ANEXO B INPUTS PARA LAS CINÉTICAS

ANEXO C DISPARO DE REACTOR, TURBINA Y BOMBAS PRINCIPALES

**ANEXO D COMPARACIÓN DE LOS TRANSITORIOS CON LOS INFORMES
PMSA**

ANEXO E INPUTS PARA LOS TRANSITORIOS

ANEXO F INPUT PARA EL AJUSTE DE VÁLVULAS DE ALIVIO

ANEXO G PROGRAMA “MODIFICAR”

ANEXO H DIAGRAMAS LÓGICOS

ANEXO I PRESUPUESTO ECONÓMICO





1. Introducción

A continuación se exponen brevemente los objetivos y el alcance del trabajo realizado.

1.1. Objetivos del proyecto

Una de las funciones que realiza el Grupo de Estudios Termohidráulicos (GET), tiene como objetivo la mejora continua del modelo de planta de la Central Nuclear de Vandellós II (CNV II). Los ajustes de sistemas y componentes forman una parte importante para llevar a cabo la mejora del modelo.

El objetivo principal de este proyecto es mejorar sustancialmente el nivel de cualificación del modelo existente de la CNV II mediante la creación de una matriz de cualificación donde aparecen los sistemas sujetos a ajustes y los transitorios donde actúan. Con esta matriz se amplía notablemente la base de datos para la realización de ajustes y en consecuencia mejora del modelo de planta.

Debido a los cambios sufridos por la planta, actualmente solo se dispone de un transitorio real ocurrido en la CNV II debidamente documentado. Para la ampliación de la base de datos se simularán cuatro transitorios que tuvieron lugar anteriormente.

Para una correcta simulación de dichos transitorios es necesaria la modificación del modelo disponible. La planta de la Central Nuclear de Vandellós II ha sufrido varias modificaciones durante los últimos años, lo que hace distinguir por configuraciones el modelo de planta según los cambios sufridos. Una configuración es una etapa en la que la central mantiene las mismas características físicas y conserva la misma potencia.

La configuración actual es la 4, pero no se tiene ningún transitorio ocurrido durante ésta. El transitorio del que se dispone ocurrió en el transcurso de la configuración 3. Para la simulación de los cuatro transitorios que ocurrieron anteriormente es necesaria la creación del modelo de planta perteneciente a las configuraciones 1 y 2.

1.2. Alcance del proyecto

El alcance de este proyecto es la creación de la matriz de cualificación. Para crear esta matriz se han simulado los cuatro transitorios que tuvieron lugar en la Central Nuclear de Vandellós desde la puesta en marcha hasta el año 1998, a partir del cual se creó un nuevo modelo conjunto para las centrales de Vandellós y Ascó.



Ha sido necesario crear los modelos de planta que reproducen los estacionarios de configuraciones anteriores al año 1998 para la correcta simulación de los transitorios.

El proyecto incluye la comparación de los transitorios simulados con los datos reales de planta y con la simulación con el modelo de planta actual.

Finalmente se ha creado un programa informático que pretende facilitar la obtención del fichero de input de Relap5/Mod3.2 para cualquier configuración de la Central Nuclear de Vandellós II, pudiendo a su vez escoger también el instante del ciclo que se desea introducir en el modelo.



2. Características generales

2.1. Descripción de la Central Nuclear Vandellós II

2.1.1. Introducción

El objeto de una central nuclear es producir energía eléctrica y contribuir a favorecer el bienestar y desarrollo de la sociedad.

Una central nuclear es una instalación que aprovecha el calor que se origina durante el proceso de fisión del átomo de Uranio-235 para producir vapor de agua a alta temperatura. Este vapor acciona un grupo turbina-alternador que, al girar, genera energía eléctrica.

La diferencia esencial con las centrales térmicas convencionales reside en la fuente de calor utilizada para la generación de vapor. En una central nuclear como Vandellós II, la fuente de calor es la fisión de los átomos de Uranio-235 contenidos en el combustible del reactor.

En las centrales térmicas convencionales, el calor se consigue mediante la combustión de fuel oil, carbón o gas en una caldera.

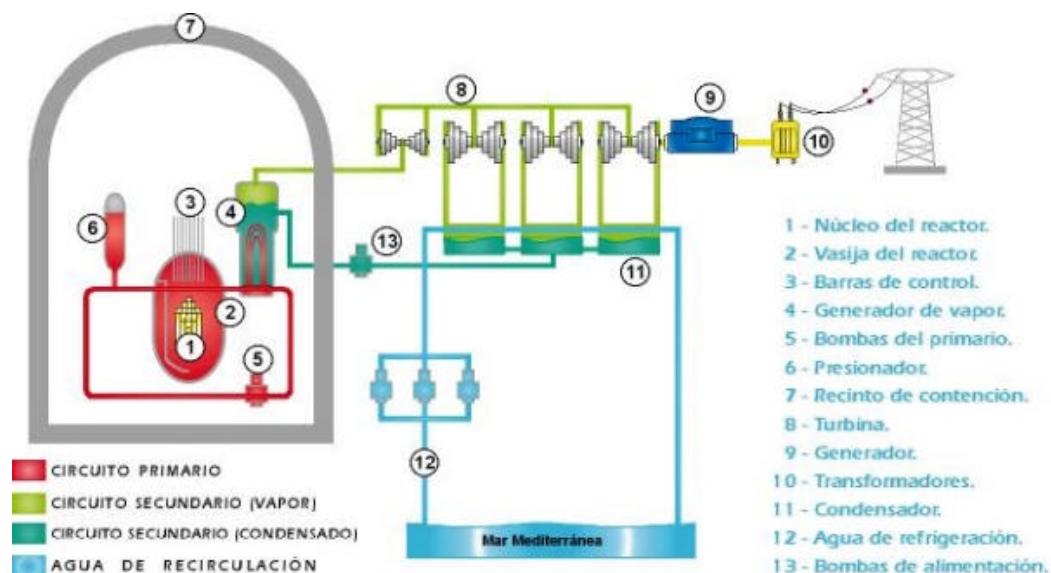


Figura 2.1.1.1. Esquema de funcionamiento de la Central Nuclear de Vandellós II



A continuación se exponen los fundamentos básicos de la Central Nuclear de Vandellós II, equipada con un reactor de agua a presión (también llamado PWR).

2.1.2. Combustible

El combustible utilizado está constituido por unas 75 toneladas de óxido de uranio enriquecido con U-235 en una proporción cercana al 4,5%.

El óxido de uranio se presenta en forma de pastillas cilíndricas apiladas en el interior de unos tubos o vainas de aleación metálica de zirconio de unos 4 metros de longitud formando barras. Dichas barras se agrupan a su vez en haces cuadrados de 264 unidades, llamados elementos combustibles.

Un reactor lleno comporta 157 de estos elementos combustibles, los cuales están situados en el interior de la vasija.

La fisión de los núcleos de Uranio-235 consiste en su rotura, provocada por la absorción de un neutrón exterior. Esta rotura produce dos núcleos más pequeños (productos de fisión), 2 o 3 neutrones y libera una gran cantidad de energía en forma de calor. Uno de estos neutrones liberados provocará una nueva fisión al ser absorbido por otro núcleo de U-235, produciéndose así una reacción en cadena.

2.1.3. Barras de control

La función de las barras de control es regular la producción de energía y parar el reactor. A fin de regular el número de fisiones y con ello la producción de energía, se introducen en el reactor elementos que absorben neutrones. Uno de estos elementos son las barras de control, de los que se dispone 48 conjuntos, repartidos en el núcleo con 24 barras en cada conjunto.

A medida que se introducen estas barras, absorben más neutrones y disminuye el número de fisiones. A medida que se extraen, absorben menos neutrones y aumenta el número de fisiones. Si se introducen totalmente, se para la reacción de fisión.

Esta función viene reforzada por la actuación adicional de una disolución de boro, que también es un absorbente de neutrones, en el refrigerante. Ambas acciones son autosuficientes, de forma independiente, para cubrir la función de control, arranque y parada del reactor.



2.1.4. Circuito primario

La función del circuito primario es transportar el calor producido en el reactor hacia el circuito secundario donde se produce el vapor. El circuito primario está formado por tres lazos independientes, unidos en la vasija, cada uno de los cuales incorpora un generador de vapor y una bomba principal. En cada uno de estos lazos todos estos elementos están unidos por una tubería principal formando un conjunto cerrado completamente estanco. En uno de los lazos está situado el presionador que es un recipiente de gran volumen que sirve para regular las variaciones de presión, manteniendo los valores requeridos para la operación mediante un sistema combinado de calentadores eléctricos y rociadores de agua fría. Por ello, este tipo de centrales se llaman de agua a presión.

2.1.5. Circuito secundario

La función del circuito secundario es la generación de electricidad y en ello no se diferencia de una central convencional. En cada uno de los tres generadores de vapor, el calor cedido por el agua del primario que circula por el interior de cada uno de los múltiples tubos que componen el generador de vapor, va a calentar el agua que circula por la parte exterior produciendo su evaporación.

El vapor generado es el que se dirige hacia la turbina para ponerla en movimiento, arrastrando el alternador instalado en su mismo eje, que al girar produce electricidad.

2.1.6. Circuito de refrigeración

Las centrales nucleares, al igual que las demás centrales convencionales y que cualquier motor o máquina térmica, necesita de un circuito de refrigeración para evacuar el calor no utilizado. Es una ley física de la naturaleza consecuencia del rendimiento de cualquier instalación.

Vandellós II utiliza agua de mar, en un circuito terciario independiente de los circuitos primario y secundario. El agua es dirigida hacia el condensador que se encuentra a la salida de la turbina, para condensar a través de sus tubos el vapor expansionado que ha servido para hacerla girar. Una vez atravesados los tubos del condensador, el total del agua utilizada es devuelta de nuevo al mar, cumpliendo los criterios de límites de calentamiento para tener la mínima influencia en el entorno.

En la CNV II, la toma de agua de refrigeración es una tubería formada por cajones de hormigón armado que se adentra por el fondo del mar una distancia aproximada de 250 metros perpendicularmente a la costa. Un emplazamiento marítimo da la seguridad de disponer de una fuente de agua inagotable.



2.1.7. Sala de control

La sala de control constituye el centro de control de todas las operaciones de la central, a ella llegan todas las señales y medidas de funcionamiento de los equipos y sistemas que la constituyen. Se trata de la ubicación donde están situados los indicadores luminosos, los registradores y mandos de los diversos equipos y sistemas de la central. El proceso de tratamiento y codificación de las órdenes emitidas y de las informaciones generadas es llevado a cabo de una manera altamente automatizada, con la colaboración del ordenador de proceso y bajo el mando y control de los operadores.

2.1.8. Recargas

Como en toda instalación de producción de energía eléctrica que utiliza combustible, es necesaria la reposición del combustible gastado por otro nuevo.

Periódicamente, en las centrales nucleares, se procede a la recarga del reactor, en la que se sustituye aproximadamente un 40% de los elementos combustibles. El combustible gastado, residuo de alta actividad, se mantiene en una piscina especialmente diseñada para este fin, situada dentro del edificio de combustible, donde se almacena hasta que sea retirado por la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA), que es la encargada de estas actividades en nuestro país.

Estas maniobras se realizan mediante una grúa que extrae cada uno de los elementos del núcleo y los deposita en el canal de transferencia que comunica, únicamente durante la recarga, los edificios de contención y de combustible, para ubicar los elementos gastados en las piscinas de dicho edificio de combustible. Esta maniobra se realiza con los elementos sumergidos en todo momento en agua borada, que sirve tanto como blindaje frente a la radiación como de refrigerante de los elementos.

2.2. Descripción del código de cálculo Relap5/Mod.3.2

El código de cálculo utilizado para la simulación de transitorios es el Relap5/Mod3.2, que fue elegido para desarrollar el modelo de planta de la CNV II.

Relap5/Mod3.2 fue desarrollado por Idaho National Engineering & Environmental Laboratory (INEEL) por la U.S. Nuclear Regulatory Comision (NRC). Fue creado para calcular las simulaciones de los transitorios que se producen en los reactores de agua ligera.

El programa incluye las seis ecuaciones de conservación (masa, energía y cantidad de movimiento para líquido y vapor), las concentraciones de soluto y gases no condensables.



Además, tiene un formato libre de entradas de datos, capacidad de obtención de gráficos y gran flexibilidad en la simulación de cualquier sistema termohidráulico.

El código modela el comportamiento acoplado del reactor y del sistema de refrigeración en diferentes escenarios de transitorios, así como en estado estacionario [1].

El Relap5/Mod3.2 es un código altamente genérico que permite simular gran variedad de sistemas termodinámicos. Los componentes del sistema de control y del sistema secundario están incluidos para modelar los controles de planta, turbinas, condensadores y los sistemas de agua de alimentación del secundario.

El código recibe como entrada un fichero llamado “input” que contiene la descripción de la central nuclear en cuestión (en este caso Vandellós) juntamente con las condiciones iniciales y de operación. La descripción de la central está dividida en cinco modelos (el hidrodinámico, el térmico, el cinético, el lógico y el de control). La información de salida se almacena en dos archivos de resultados: archivo “restart” y archivo “output”, este último fácilmente extraíble con programas de cálculo tipo Excel.

En el fichero “restart” (o de reinicio) la información se guarda en lenguaje máquina, y por tanto, el usuario no puede acceder de forma directa a los datos. Este fichero contiene la información sobre la evolución de todos los parámetros en el tiempo. Se utiliza para extraer las listas de resultados donde está descrita la evolución temporal de las variables. También permite continuar la simulación a partir del instante final o de determinados momentos de un estacionario o transitorio calculado anteriormente.

Durante la ejecución del código se va imprimiendo el fichero de salida “output” de acuerdo con las opciones seleccionadas en el fichero de entrada. El usuario puede acceder de forma directa a la información.

Un fichero output empieza con un listado del fichero de entrada (input). A continuación se escribe la “major edit” (edición mayor o completa) inicial, seguida de las requeridas para el usuario y las que el código genera adicionalmente. Las “minor edits” (edición menor o simplificada) de las variables demandadas por el usuario se añaden entre las “major edits”. Adicionalmente, entre las “major edits” pueden aparecer mensajes que avisen de las dificultades que se encuentran durante el cálculo.

Una “major edit” contiene la información respecto al progreso del cálculo. Esta información está distribuida en bloques. Al inicio de la “major edit” se encuentra la información referente al paso de tiempo utilizado, el tiempo de CPU, el tiempo de simulación calculado, etc.



Después, da el estado en el que se encuentran todas las variables lógicas (trip) en el momento en que se ha escrito la “major edit”, indicando si el trip es cierto o falso.

Seguidamente están escritas todas las condiciones de todos los volúmenes hidrodinámicos, presiones, fracciones de vapor, temperaturas, densidades, velocidades, etc. A continuación están las condiciones hidrodinámicas de las uniones, el estado del modelo de las estructuras de calor y el estado de las variables de control.

Las “minor edits” son unos listados donde se encuentra el estado de las variables demandadas previamente por el usuario en el instante en el que se encuentra el cálculo en el momento de la impresión. Este listado se utiliza para obtener la información más importante compacta y, por tanto, facilitar el análisis de los resultados.

En esta lista el usuario incluye las presiones, temperaturas, flujos y velocidades más representativas de las regiones importantes del modelo.

El fichero “output” permite localizar fácilmente errores que se hayan podido producir durante la ejecución del fichero de entrada.

2.3. Descripción del modelo de planta de la CNV II

El modelo de planta de la Central Nuclear de Vandellós II es revisado constantemente con la finalidad de mejorar y ampliar los resultados obtenidos en las simulaciones. Después del proceso de mejoras y ampliaciones continuas del modelo, la planta actualmente consta aproximadamente del número de elementos que se muestra en la siguiente tabla (Tabla 2.3.1.) [2].



Elementos	Número de elementos en CNV II
Volúmenes hidrodinámicos	613
Variables de control	1327
Trips variables	234
Trips lógicos	461
Tablas	227
Variables Interactivas	142

Tabla 2.3.1 Número de elementos del modelo de planta de la CNV II

Todos estos componentes forman parte de un input en Relap5/Mod3.2 (archivo base de entrada de datos) de unas 14.000 líneas, en el caso de la Central Nuclear Vandellós II. El modelo de planta contempla todo el circuito primario de la central y el circuito secundario hasta las válvulas de admisión de la turbina.

También se incluyen los sistemas asociados a los circuitos primario y secundario:

- Sistema de control químico y de volumen (CVCS)
- Inyección de seguridad de alta presión
- Inyección de seguridad de baja presión
- Tanques acumuladores de ácido bórico
- Sistema de agua de alimentación, principal y auxiliar
- Sistema de descarga al condensador (steam-dump)
- Válvulas de alivio y seguridad del presionador
- Tanque de alivio del presionador
- Válvulas de alivio y de seguridad de los generadores de vapor



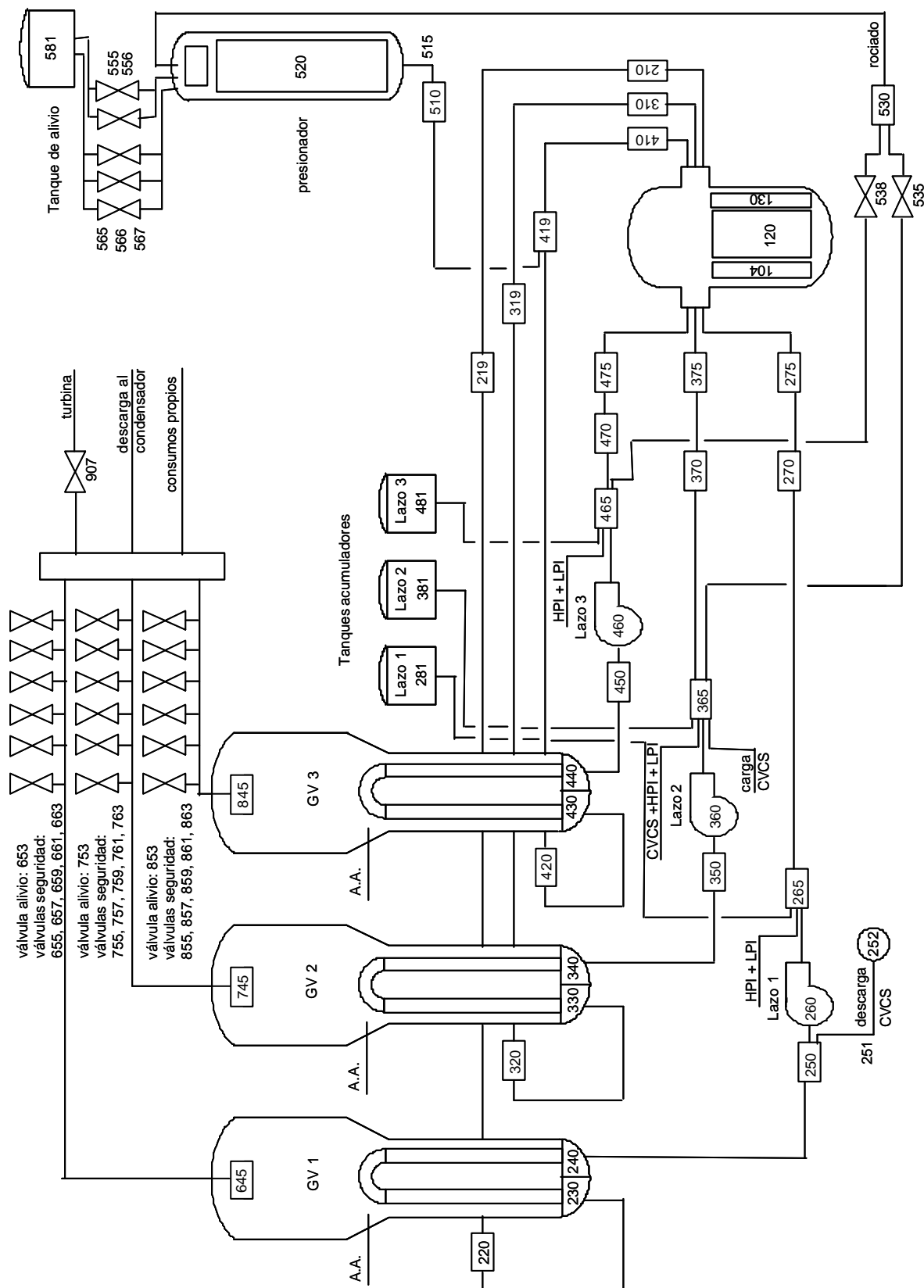
El modelo incluye también:

- Señales automáticas de instrumentación permisivos
- Sistema de protección y paradas de turbina y reactor
- Sistemas de control

Las limitaciones principales del modelo vienen referidas al uso de la cinética puntual y daño severo al núcleo.

A continuación se muestra el diagrama de nodalización general para la Central Nuclear de Vandellós II (Figura 2.3.1.)





C.N. VANDELLOS II

Figura 2.3.1. Diagrama de nodalización general de la C.N. de Vandellós II





3. Análisis de las configuraciones de la CNV II

3.1. Introducción

El primer y obligado paso de una simulación es la obtención de un estado estacionario de planta. A efectos prácticos de simulación, se considera que la planta está en régimen estacionario cuando las variables principales, léase potencia nuclear y de turbina, caudales de lazos primario, temperatura media, presión del primario y secundario y un largo etcétera, alcanzan sus valores nominales y los mantienen sin oscilaciones apreciables durante un periodo no inferior a 2000 segundos.

Los transitorios simulados más adelante son transitorios reales que se produjeron entre el año 1988 y 1996. Durante este periodo la CNV II ha modificado algunas características de la planta debido a avances tecnológicos ó cambios en la potencia nominal. Por este motivo, no es suficiente trabajar con un único estado estacionario para una correcta simulación.

Para obtener estacionarios que se ajusten mejor al modelo de planta real en un determinado instante del tiempo es necesario trabajar con varias configuraciones. Una configuración es una etapa en la que la central nuclear mantiene las mismas características físicas y conserva la misma potencia.

Actualmente se distinguen cuatro configuraciones distintas para la CNV II. La configuración original es la configuración 1. Debido a mejoras en el agua de alimentación principal se creó la configuración 2. Se pasa a la configuración 3 debido a un aumento de potencia de 2775MW a 2900MW. Un último aumento de potencia hasta los 2940MW hace que la configuración actual sea la 4.

En el año 1998 la Asociación Nuclear Vandellós II y la Asociación Nuclear de Ascó se unificaron y pasaron a ser una única asociación, Asociación Nuclear Ascó Vandellós. Se utilizaba el simulador Relap5/Mod3.2 para todas las plantas pero los modelos de input presentaban grandes diferencias entre si. Para conseguir un mismo alcance, numeración, sistemas de control, nodalización, etc. se creó un nuevo modelo de planta único para ambas centrales.

El modelo antiguo de Vandellós era más completo, ya que tenía un mayor alcance y más sistemas de control. Se cogió este modelo de referencia pero toda la numeración fue cambiada, los componentes fueron estandarizados y los planos lógicos del modelo se modificaron para que sirvieran para ambas centrales.



Actualmente el input utilizado para la CNV II presenta algunas diferencias con el de Ascó, ya que las centrales no son exactamente iguales. De todos modos se ha conseguido un modelo estándar para ambas.

A causa de esto, hoy en día solo existe actualizado el modelo de planta de Vandellós perteneciente a la configuración 3 y 4. Haciendo los cambios oportunos sobre el modelo correspondiente a la configuración 4 se obtendrán las configuraciones 1 y 2, de las cuales no tenemos el modelo de planta actualizado y son imprescindibles para la simulación de los transitorios.

3.2. Configuración 1

Como se ha comentado anteriormente la configuración 1 es la configuración original, abarca el periodo temporal desde 1988 hasta verano de 1995. La principal característica que distingue esta configuración de la siguiente es el sistema de agua de alimentación, ya que en 1995 se cambiaron las válvulas de agua de alimentación principal y el sistema de control.

Dentro del sistema de agua de alimentación analizaremos más a fondo las válvulas principales, de by-pass y el sistema de control para poder introducir los cambios necesarios en el modelo para la obtención de la configuración 1.

El nuevo modelo correspondiente a dicha configuración se obtendrá introduciendo sobre el modelo de la configuración actual los cambios oportunos. Por este motivo analizaremos los componentes y sistemas de control que son necesarios modificar para la obtención de la configuración 1.

3.2.1. Sistema de agua de alimentación

El sistema de agua de alimentación de la CNV II está compuesto por dos subsistemas diferenciados:

- 1.- Sistema de agua de alimentación principal (AAP)
- 2.- Sistema de agua de alimentación auxiliar (AAA)

El sistema de agua de alimentación principal tiene la misión de mantener el nivel y el caudal de agua necesarios de los generadores de vapor con la planta funcionando a potencia. Está compuesto por dos turbobombas en paralelo con una capacidad unitaria del 80% del caudal nominal al 100% de potencia. Estas turbobombas son accionadas mediante vapor extraído de las líneas de vapor 1 y 3.



El sistema de agua de alimentación auxiliar tiene la misión de mantener los generadores de vapor como foco frío en los arranques, paradas y paradas automáticas del reactor. Está compuesto por una turbobomba y dos motobombas que entran en operación por señal automática cuando se produce la parada del reactor.

El siguiente esquema describe la nodalización del sistema de agua de alimentación (Figura 3.2.1.1.)



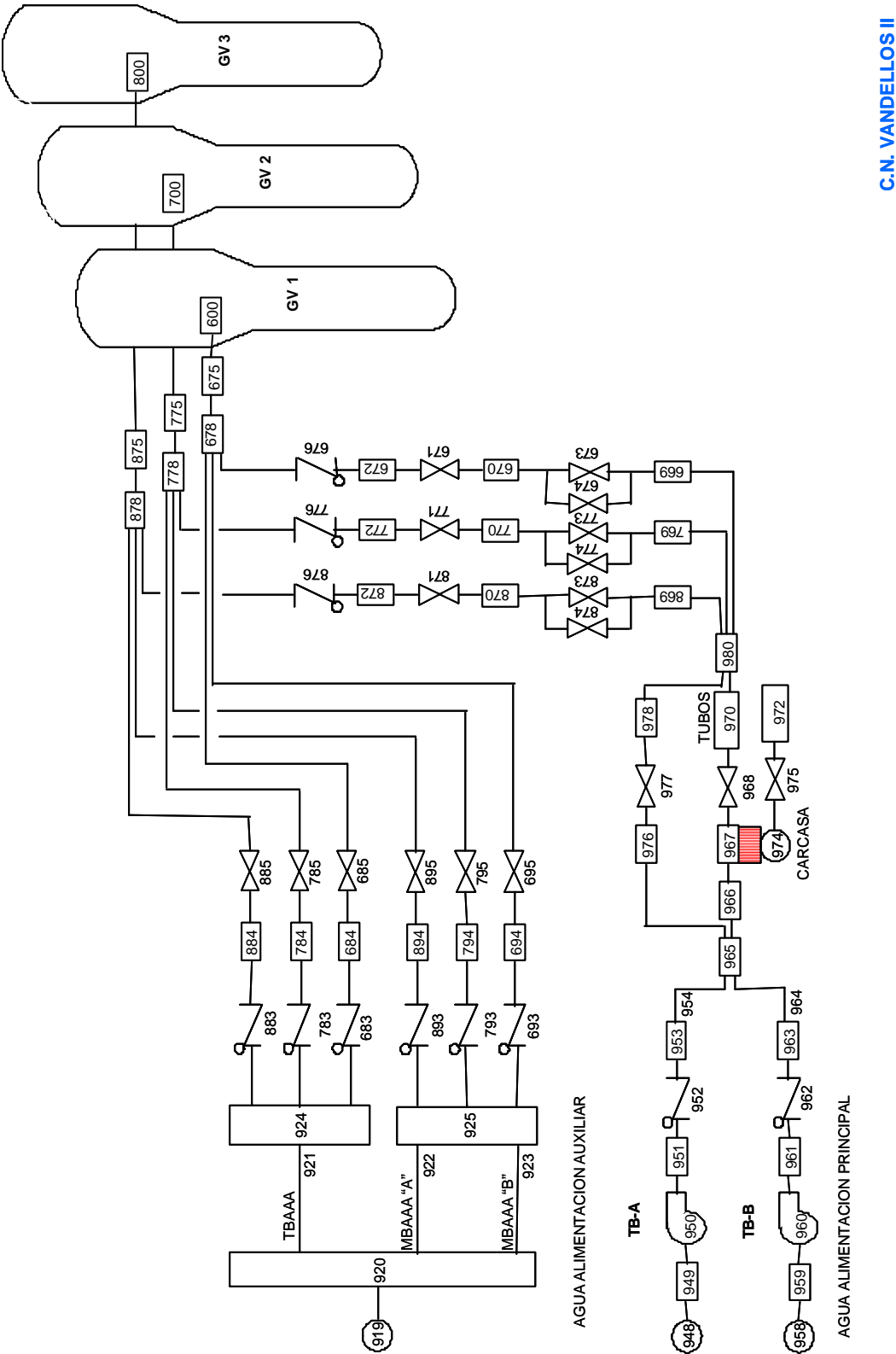


Figura 3.2.1.1. Diagrama de nodalización del sistema de agua de alimentación



En el sistema de agua de alimentación principal, encontramos las válvulas principales ó de regulación y las válvulas de by-pass (válvulas 673/773/873 y válvulas 674/774/874 en la Figura 3.2.1.1.). Es necesario modificar estas válvulas en el modelo de planta ya que originariamente eran distintas a las actuales.

- Datos geométricos de las válvulas de regulación: (Válvulas 673/773/873)

Las válvulas de regulación del sistema de agua de alimentación principal se modelan con las SRVVLV 673, 773 y 873, cuyos valores han sido obtenidos mediante ajustes.

Estas válvulas se cambiaron en la recarga del año 1995, modelándose las nuevas válvulas, pero se ha mantenido el modelo de las antiguas para la validación frente a transitorios ocurridos anteriormente. Para las válvulas nuevas el área asignada es:

$$A_{673} = A_{773} = A_{883} = 0.047 \text{ m}^2$$

Para las válvulas antiguas:

$$A_{673} = A_{773} = A_{883} = 0.0275 \text{ m}^2$$

Estas 3 válvulas son iguales, y se ha ajustado su área para que el caudal que proporcionan sea el adecuado para cada posición del vástago.

- Datos geométricos de las válvulas de by-pass: (Válvulas 674/774/874)

Las válvulas de by-pass de las válvulas principales se han modelado con las SRVVLV 674, 774, 874, cuyos valores han sido obtenidos mediante ajustes.

Los valores asignados a estas válvulas son:

$$A_{874} = A_{774} = A_{674} = 0.0059 \text{ m}^2$$

Para las válvulas antiguas:

$$A_{874} = A_{774} = A_{674} = 0.0055 \text{ m}^2$$

Para la realizar el cambio de válvulas principales y de by-pass sobre el modelo actual, únicamente será necesario modificar el área de éstas.

El sistema de agua de alimentación principal tiene su control correspondiente, el cual contempla los siguientes controles y señales:



- Control de las válvulas de agua de alimentación principal
- Control de las válvulas de by-pass
- Control de la velocidad de las turbobombas
- Señal de aislamiento del agua de alimentación principal y de by-pass (SAAAP)
- Permisivo de modulación de las válvulas de agua de alimentación principal.
- Señal de parada de turbina por señal de inyección de seguridad y la reposición manual mediante un pulsador.

Es necesario estudiar los controles que hacen referencia a las válvulas de alimentación principal, ya que originariamente eran distintos. También se ha mantenido la estructura del control modificando únicamente las constantes y tiempos de los controladores proporcional-integral (PI).

El esquema siguiente muestra el esquema completo del control de agua de alimentación principal, donde se encuentran los controladores PI a modificar (Figura 3.2.1.2.).



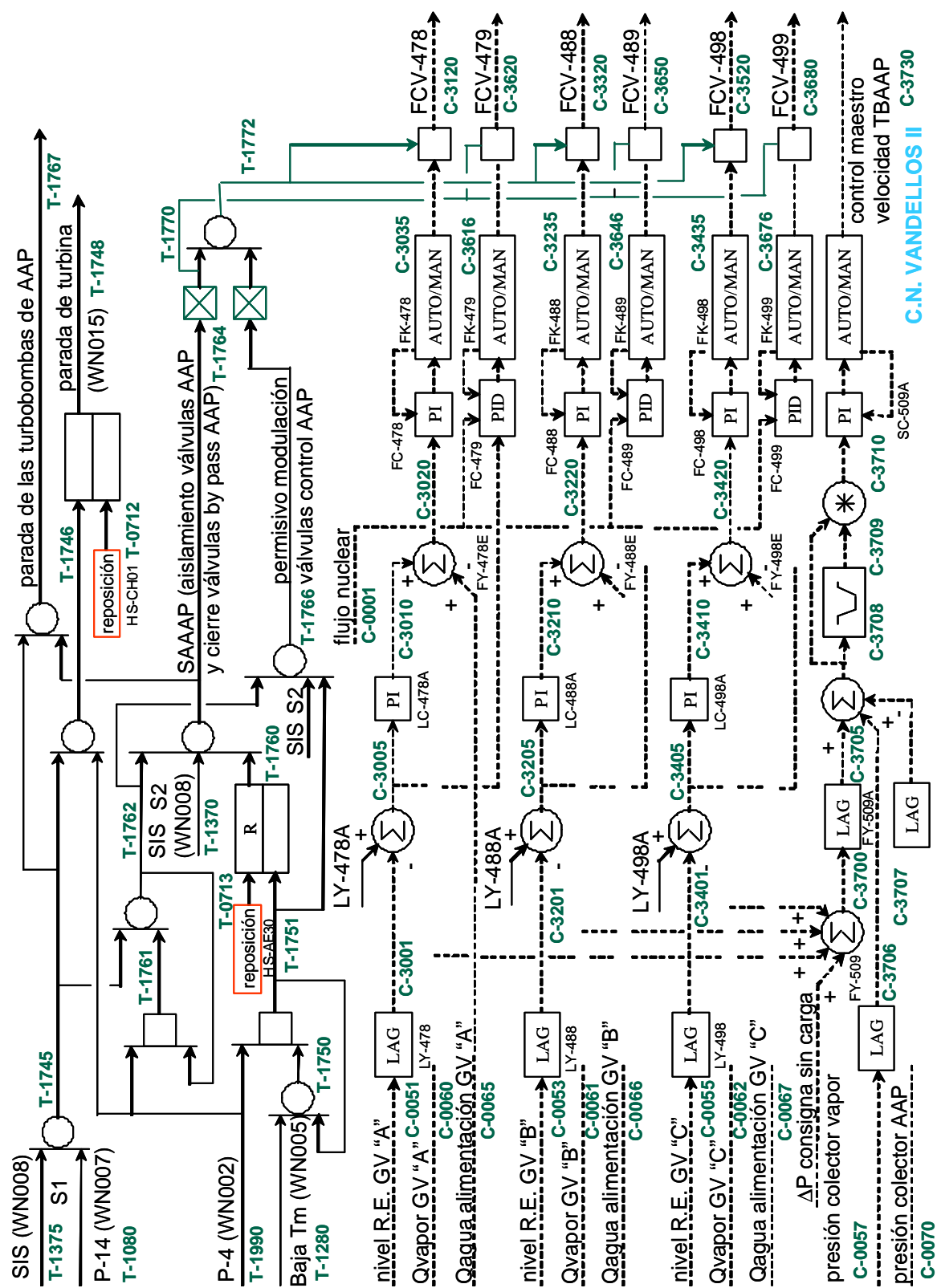


Figura 3.2.1.2.Diagrama de control y aislamiento del sistema de agua de alimentación principal



A continuación se analiza los cambios necesarios a introducir en el modelo de planta para adecuar el control a las válvulas antiguas, tal y como era en la configuración 1.

El control de cada una de las tres válvulas de agua de alimentación principal parte de la comparación de:

- Error de nivel en cada generador de vapor respecto al programado.
- Error de caudal de agua de alimentación respecto al caudal de vapor en cada generador de vapor.

El nivel real de cada generador pasa primero por un LAG, LY-478 / LY-488 / LY-498, la salida se compara con el nivel programado, LY-478A / LY-488A / LY- 488A, a continuación el error de nivel entra en un controlador PROPORCIONAL-INTEGRAL, LC-478A / LC-488A / LC-498A. A este error de nivel compensado, se le suma el error de caudales de agua de alimentación y de vapor en el sumador FY-478E / FY-488E / FY-498E. Finalmente, la suma de errores de nivel compensado y de caudales de agua y vapor entra en un controlador PROPORCIONAL-INTEGRAL, FC-478A / FC-488A / FC-498A, que a su vez incorpora la estación de conmutación auto-manual. La salida actúa directamente sobre la posición de vástago de cada válvula.

El esquema que aparece a continuación muestra más detalladamente los dos controladores PROPORCIONAL-INTEGRAL (Figura 3.2.1.3.) [5].



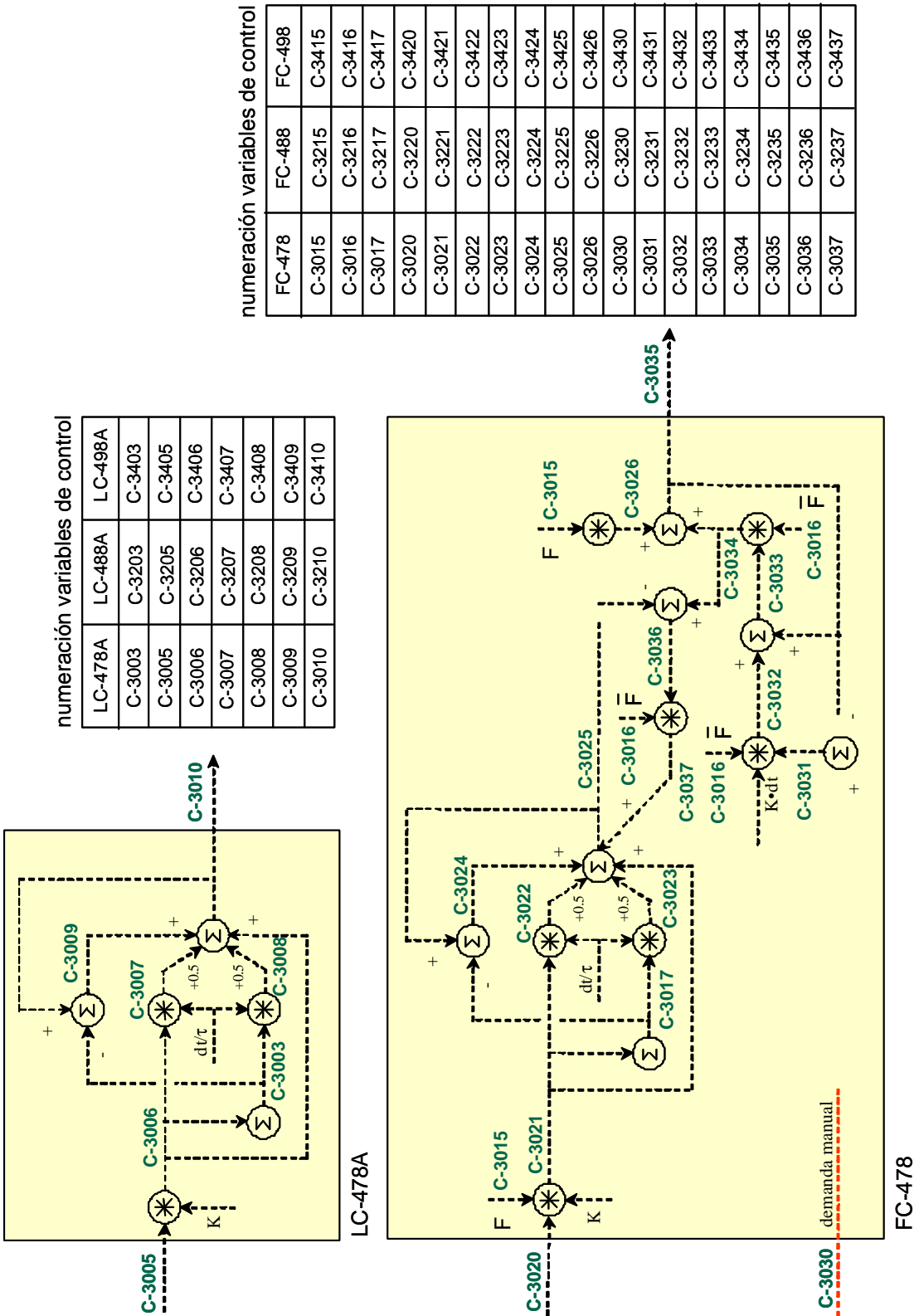


Figura 3.2.1.3. Controlador proporcional-integral del control del sistema de AAP



Los parámetros a modificar para la obtención de la configuración 1 se presentan a continuación.

- Controlador integral-proporcional LC-478 A, LC-488 A, LC-498 A

Los parámetros originales son los siguientes:

$$K = 3$$

$$T = 200s$$

Dentro de la configuración 1 encontramos, coincidiendo con un ligero aumento de potencia en el año 1994, que estos parámetros fueron modificados de la siguiente manera:

$$K = 5.3$$

$$T = 1800s$$

- Sumador FY-478E, FY-488E, FY-498E

Al error de nivel compensado, se le suma el error de caudales de agua de alimentación y de vapor en el sumador, cuyas constantes que describen el error a sumar son las siguientes:

$$\text{Error Q vapor GV: } 0.194595$$

$$\text{Error Q agua alimentación GV: } -0.194595$$

- Controlador proporcional-integral FC-478, FC-488, FC-498

Los parámetros originales son los siguientes:

$$K = 0.75$$

$$T = 200s$$

Estos valores permanecieron constantes durante toda la configuración 1, sin sufrir ninguna modificación.

En este proporcional-integral se inicializa la apertura de las válvulas de agua de alimentación principal, siendo el porcentaje de apertura inicial de un 80%, valor superior a otras configuraciones debido a la menor sección de paso de dichas válvulas.



3.2.2. Potencia térmica nominal

La potencia inicial era de 2775MW y como hemos comentado anteriormente se produce un aumento de potencia del 1,8% en el año 1994, hasta alcanzar los 2825MW. Este aumento de potencia es producido por el aumento de caudal de vapor extraído por turbina. Es necesario introducir en el modelo de planta el cambio de potencia y del vapor extraído por turbina.

3.2.3. Cambios a realizar

Tras el estudio efectuado es conveniente que se distingan dos configuraciones distintas dentro de la configuración 1, ya que la exactitud será mayor a la hora de simular transitorios.

Desde 1988 hasta 1993 le asignaremos la configuración 1a y desde 1994 hasta 1995 le asignaremos la configuración 1b.

Para la obtención de la configuración 1a se cambia sobre el modelo de la configuración 4, las válvulas de AAP y de by-pass, el control de dichas válvulas y la potencia térmica en los controles y bloque cinético. Las líneas a cambiar las encontramos en el fichero de texto “conf4-conf1a.inp” (Anexo A).

El término cinética se refiere a todo el bloque de líneas de código que abarcan los datos de cinética puntual que rige el comportamiento del reactor.

La configuración 1b se obtiene de la misma manera que la configuración 1a, pero cambiando los valores del control del sistema de AAP y la potencia térmica en los controles y bloque cinético. Las líneas a modificar en el modelo de la configuración 4 para obtener la 1b se encuentran en el fichero de texto “conf4-conf1b.inp” (Anexo A).

A continuación se muestran las gráficas de potencia de las simulaciones de los estacionarios de configuración 1a y configuración 1b (Figura 3.2.3.1. y Figura 3.2.3.2.), donde se puede comprobar que con los cambios realizados se obtienen estacionarios aptos para simular cualquier transitorio. Las variables principales alcanzan valores nominales y los mantienen sin oscilaciones apreciables durante un periodo no inferior a 2000 segundos.



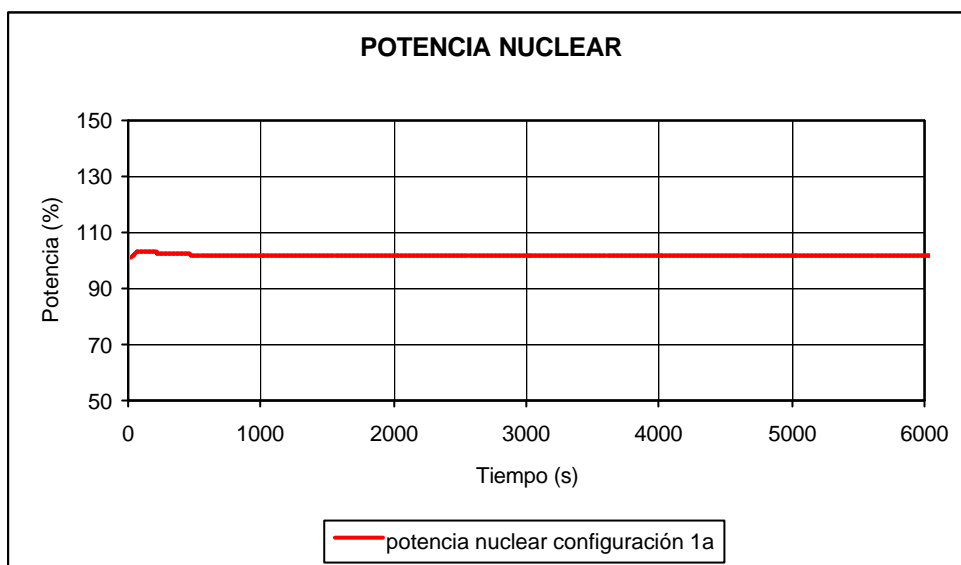


Figura 3.2.3.1. Potencia nuclear en el estacionario de la configuración 1a

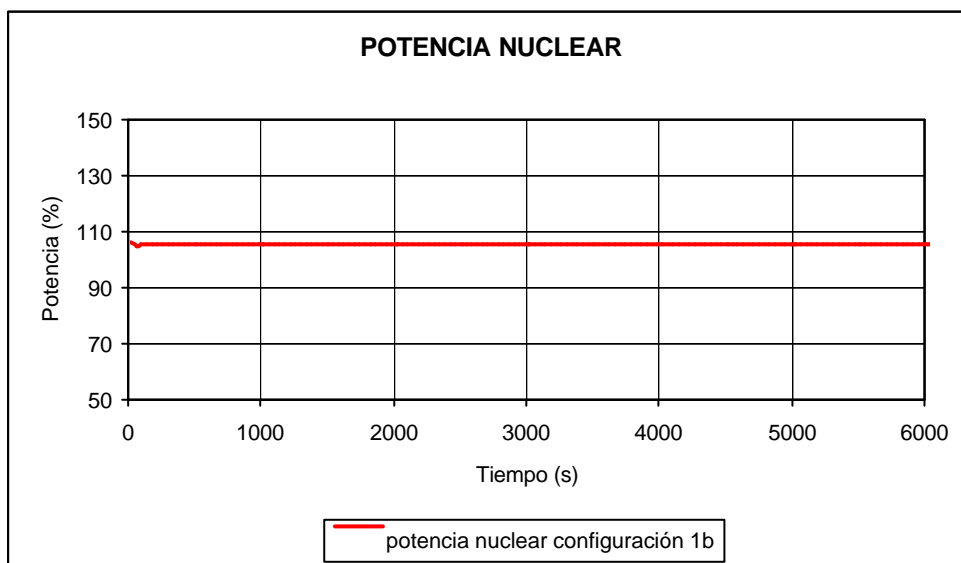


Figura 3.2.3.2. Potencia nuclear en el estacionario de la configuración 1b



3.3. Configuración 2

Para pasar de la configuración 1b a la configuración 2 se hicieron mejoras en el agua de alimentación principal. Inicialmente se cambiaron las válvulas y unos meses más tarde se procedió a modificar el control de las mismas.

3.3.1. Válvulas del sistema de agua de alimentación principal

Las válvulas principales y las válvulas de by-pass fueron cambiadas para mejorar el comportamiento del caudal frente a la apertura de ambos tipos de válvulas.

La curva C_v vs posición de vástago, representa el caudal que pasa por la válvula según la apertura de ésta. En las válvulas antiguas esa curva no era lineal, lo que provocaba que el comportamiento del control no fuera exacto según la apertura de las mismas y se cambiaron por otras, las cuales ofrecían una curva C_v vs posición de vástago lineal.

De esta manera se consiguió que el control de dichas válvulas fuera mucho más preciso para cualquier apertura. En un principio también se creyó que se podrían suprimir las válvulas de by-pass que sirven para el arranque, aunque se decidió seguir conservándolas.

Las válvulas principales se simulan con un área de $0,047 \text{ m}^2$.

Las válvulas de by-pass se simulan con un área de $0,0059 \text{ m}^2$.

No será necesario introducir ningún cambio en el modelo de planta referente al área de estas válvulas, ya que hoy en día se opera con éstas y están incorporadas correctamente en los modelos siguientes.

3.3.2. Sistema de control de las válvulas del AAP

Una vez efectuado el cambio de válvulas se modificaron los parámetros de control para que se ajustara mejor a las nuevas válvulas.

Las diferencias en el control de agua de alimentación principal respecto a la configuración actual se vuelven a encontrar en los dos controladores integral-proporcional.

A continuación se describen los parámetros a modificar en el modelo de planta actual para la obtención del control correspondiente a la configuración 2.



- Controlador integral-proporcional LC-478 A, LC-488 A, LC-498 A

Los parámetros a modificar son los siguientes:

$$K = 2$$

$$T = 720 \text{ s}$$

- Sumador FY-478E, FY-488E, FY-498E

Al error de nivel compensado, se le suma el error de caudales de agua de alimentación y de vapor en el sumador, cuyas constantes que describen el error a sumar son las siguientes:

$$\text{Error Q vapor GV: } 0.05454$$

$$\text{Error Q agua alimentación GV: } -0.054054$$

- Controlador proporcional-integral FC-478, FC-488, FC-498

Los parámetros cambiados son los siguientes:

$$K = 0.75$$

$$T = 230 \text{ s}$$

En este proporcional-integral se inicializa la apertura de las válvulas de agua de alimentación principal, siendo el porcentaje de apertura inicial de un 66%, dicho valor es menor que el anterior porque las válvulas tienen una mayor sección de paso y abiertas al 100% ofrecen un caudal mayor que las anteriores.

El sistema de control de agua de alimentación principal tampoco ha sufrido cambios desde la configuración 2 hasta la actual, esto quiere decir que no es necesario introducir cambios en el modelo actual de planta.

3.3.3. Potencia térmica nominal

La potencia térmica permaneció constante en el paso de la configuración 1b a la 2. Es necesario modificar los parámetros correspondientes en el modelo de la configuración 4 para obtener una potencia de 2825MW.



3.3.4. Cambios a realizar

Para obtener la configuración 2 a partir del modelo de la 4, únicamente debemos cambiar los parámetros de potencia con su cinética correspondiente, ya que las válvulas y el control siguen siendo los mismos que los utilizados hoy en día. Las líneas a modificar en el modelo las encontramos en el fichero de texto “conf4-conf2.inp” (Anexo A).

A continuación se muestra el gráfico (Figura 3.3.4.1.) de la potencia nuclear en estado estacionario que verifica el buen comportamiento del modelo a la hora de reproducir un estado estacionario correspondiente a la configuración 2.

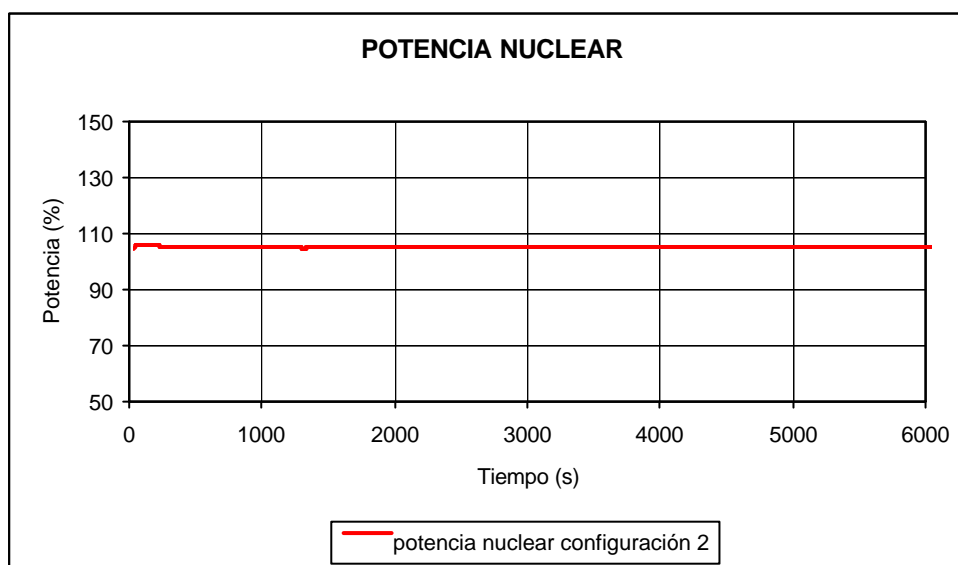


Figura 3.3.4.1. Potencia nuclear en el estacionario de la configuración 2

3.4. Configuración 3

El modelo de dicha configuración es un modelo ya existente. Un aumento significativo de potencia, desde 2825MW hasta 2900MW, distingue la configuración 3 de la anterior. Para llevar a cabo dicho aumento se realizaron varios cambios en la planta para poder operar a dicha potencia.

3.4.1. Cambios en el primario

Para aumentar la potencia es imprescindible tener el licenciamiento correspondiente. Se basa en realizar estudios de seguridad que garanticen que la central puede operar a la potencia deseada. Los cálculos necesarios fueron realizados por las empresas Westinghouse y ENUSA y aprobados por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).



3.4.2. Cambios en el secundario

El circuito secundario de la CNV II estaba inicialmente sobredimensionado un 15% - 20%. Gracias a ello, sólo fue necesario cambiar la turbina para poder absorber el caudal de vapor necesario para generar una potencia de 2900MW.

3.4.3. Conclusión

Aunque el modelo correspondiente a la configuración 3 ya existe, se ha creado el fichero de texto “conf4-conf3.inp” (Anexo A) que recoge las líneas de código que habría que cambiar en la configuración 4 para la obtención de la 3.

3.5. Configuración 4

Para llegar a la configuración 4 el único cambio efectuado fue un incremento de potencia. Se pasó de 2900MW a 2940MW, dicho aumento se consiguió incrementando solamente el vapor de entrada a la turbina. Este cambio de potencia es llamado mini-uprating.

3.6. Creación de inputs para las configuraciones

Para cada configuración se han creado ficheros de texto que contienen las líneas a modificar en el modelo de planta actual, configuración 4, para la obtención de las restantes configuraciones. A parte de los cambios descritos anteriormente se han modificado más parámetros como el caudal de vapor, el caudal de agua de alimentación principal, factor de fouling de los generadores de vapor, etc. para la obtención correcta de los distintos estacionarios.

La configuración 4 sufre constantemente modificaciones a causa de corrección de errores y ajustes de parámetros y sistemas. Se realizará un programa informático que permitirá la obtención de cualquier configuración a partir del modelo actual de planta, mediante los ficheros de texto creados para cada configuración. De esta manera será suficiente realizar las correcciones únicamente sobre el modelo de la configuración 4.

A parte de la configuración, el programa también permite escoger la cinética con la que se desea trabajar. Se han realizado archivos informáticos los cuales contienen únicamente la cinética para ser utilizados con el programa (Anexo B).



4. Transitorios

Entre el año 1988 y el año 1996 tuvieron lugar distintos transitorios en la planta de la CNV II. A continuación se simula un transitorio correspondiente a cada configuración con el fin de demostrar que los modelos obtenidos para cada configuración reflejan de manera más exacta el estado de la planta en dicho periodo de tiempo.

Los transitorios ya fueron simulados por la empresa PMSA (Pablo Moreno S.A.) con el modelo antiguo de planta [3]. De sus informes se saca la información necesaria para saber qué ocurrió en la planta para que se iniciasen los transitorios, las acciones manuales que fueron realizadas y algunos datos complementarios que nos describen el estado de la planta en ese instante.

Con dichos datos se han creado los ficheros input para poder simular los transitorios con el programa Relap5/Mod3.2. La información sobre el estado de la planta es limitada y en algún transitorio de desconoce incluso la potencia y cinética utilizada.

El primer transitorio se inició a causa de un aislamiento de vapor principal inadvertido que ocurrió en junio de 1989. Se simula con la configuración 1a que abarca desde 1988 hasta 1993. El siguiente transitorio fue iniciado por el disparo de una turbobomba de agua de alimentación principal que tuvo lugar en noviembre de 1994 y se simula con la configuración 1b. El último transitorio ocurrió en septiembre de 1996 y se inició a causa del disparo de la turbina, simulado con la configuración 2.

Perteneciente a la configuración 1a también tuvo lugar otro transitorio en 1991. Fue iniciado por alteraciones en la red eléctrica a causa de una tormenta. El informe de la simulación de dicho transitorio lo podemos encontrar en el Anexo C.

Los transitorios simulados se comparan con los datos de planta y con la simulación con la configuración 3. Se quiere demostrar que para una correcta simulación de los transitorios que ocurrieron antes del año 1998, es necesario tener los inputs correspondientes a las configuraciones anteriores.

También se han comparado los resultados obtenidos con los informes de PMSA para demostrar que los inputs realizados con el nuevo modelo de planta tienen un comportamiento parecido al antiguo y en muchas ocasiones se asemejan incluso mejor a los datos de planta. Estas comparaciones se han adjuntado en el Anexo D.



Con la simulación de estos transitorios se amplía la base de datos necesaria para realizar estudios de sensibilidad con el fin de ajustar componentes o sistemas que históricamente sólo han entrado en funcionamiento en los transitorios en cuestión.

Actualmente solo se dispone de la simulación de un transitorio real de planta ocurrido en la CNV II, correspondiente a la configuración 3. Simulando los siguientes transitorios se amplían notablemente los casos reales donde entran en funcionamiento sistemas que en estado estacionario no actúan.

El comportamiento de estos sistemas se estudia comparando parámetros reales de planta, en los que su funcionamiento tiene influencia, con los datos obtenidos de la simulación. Como ya se ha comentado anteriormente, los datos de los que se disponen son escasos, lo que provoca en muchas ocasiones, que el parámetro disponible de planta no tenga una relación directa con el funcionamiento del sistema, pero si indirecta.

Por ejemplo, si queremos hacer un estudio de sensibilidad del área de las válvulas de alivio de los generadores de vapor, lo ideal sería disponer los datos del caudal de vapor extraído o la apertura de dichas válvulas durante el transitorio. Como no se dispone de estos datos, se tendrá que utilizar los datos correspondientes a la presión del secundario durante el transitorio, que también está afectado por el comportamiento o la estructura de las válvulas de alivio.

Después de simular cada transitorio se describirán los sistemas que entran en funcionamiento durante su transcurso y los datos de planta disponibles en los que tienen influencia.

Cabe destacar que las unidades utilizadas a continuación no siempre son las pertenecientes al Sistema Internacional, debido a que se han utilizado las mismas unidades con las que se trabaja en la planta de la Central Nuclear de Vandellós II.

4.1. Aislamiento de vapor principal inadvertido

El transitorio tuvo lugar en la CNV II el 26 de junio de 1989, para su simulación se utiliza el modelo perteneciente a la configuración 1a. A continuación se describe la simulación del transitorio iniciado por aislamiento inadvertido de vapor principal y la comparación de los resultados con los datos de planta y con el transitorio obtenido utilizando la configuración 3.



4.1.1. Estacionario

Se parte de un estado estacionario al 100% de potencia, con los valores de cinética correspondientes a final de vida del ciclo 1.

Para el cálculo del transitorio se ha partido del fichero input “EST1a1.inp” que corresponde al modelo de planta de la configuración 1a, al que se le han introducido alguna modificación, como por ejemplo el caudal de vapor extraído por la turbina, cinética, pérdidas, etc., para adaptarlo a la situación real de planta en la fecha del transitorio.

Con el fichero resultante se ha calculado un transitorio nulo para obtener el estado estacionario de la configuración 1a, fichero “EST1a1.rst”. A continuación se muestra una tabla comparativa de los principales parámetros en estacionario (Tabla 4.1.1.1.). Se comprueba que todos los parámetros se ajustan de manera razonable a los datos de planta.

PARÁMETRO	RELAP CONFIGURACIÓN 1a			PLANTA		
	lazo 1	lazo 2	lazo 3	lazo 1	lazo 2	lazo 3
Potencia nuclear (%)	100.39			100.38		
Temperatura media (°C)	309.15	309.13	309.16	308.32	308.68	308.93
Temperatura caliente (°C)	326.04	326.04	326.04	324.65	324.88	325.10
Temperatura fría (°C)	292.26	292.22	292.29	292.86	292.23	292.04
Presión del presionador (kg/cm2)	157.20			158.52		
Presión de los generadores de vapor (kg/cm2)	67.91	67.86	67.92	68.15	67.60	68.28
Caudal de vapor (T/h)	1844.52	1849.15	1846.49	1786.72	1853.40	1866.32
Caudal de agua de alimentación principal (T/h)	1844.51	1849.15	1846.49	1830.66	1865.99	1902.93
Nivel de los generadores de vapor (%)	50.00	50.00	50.00	51.63	49.60	51.53
Nivel del presionador (%)	57.30			59.20		

Tabla 4.1.1.1. Comparación de los parámetros principales en estado estacionario

4.1.2. Transitorio

El transitorio se inició por una acción manual inadvertida que produjo el cierre de las válvulas de aislamiento de vapor principal, que a su vez provocó el aumento de presión del secundario y disminución del nivel en los generadores de vapor, hasta alcanzarse el punto de tarado por bajo nivel que origina disparo de reactor y turbina.



Inicialmente se produce una subida de la temperatura media y presión del primario debido a que no se extrae calor por el secundario. La subida de presión en el secundario provocó la apertura de las válvulas de alivio y de algunas de las válvulas de seguridad.

Cinco segundos después de iniciarse el transitorio se produce el disparo de las bombas de agua de alimentación principal, pasando a alimentarse los generadores de vapor con el sistema de agua de alimentación auxiliar.

Una vez que la presión disminuye, cierran las válvulas de alivio y seguridad quedándose la planta en situación estable en los valores de carga nula.

En el presionador se produce inicialmente una subida de presión y nivel, debida a la subida inicial de temperatura. Esto provoca la apertura de las válvulas de alivio del presionador y la activación de los calentadores de respaldo.

No se dispone de datos del caudal de agua de alimentación auxiliar, por ello no es posible simular con precisión el transitorio a largo plazo, se ha decidido calcular 300 segundos, ya que se supone que en este periodo todavía no se realiza ninguna acción manual sobre el caudal de agua de alimentación auxiliar. A partir de este instante se observan en los datos de planta ligeros saltos en la presión en los generadores de vapor, que podrían deberse a reducciones progresivas del caudal de agua de alimentación auxiliar.

Por razones desconocidas no abrieron todas las válvulas de seguridad. Las válvulas 2, 3, 4 y 5 del lazo 1 y 2 y las válvulas 3, 4 y 5 del lazo 3 permanecieron cerradas cuando deberían haber abierto.

A continuación se describen las secuencias de acciones que tuvieron lugar tanto en el inicio como en el transcurso del transitorio.

0.0 s Bloqueo de las válvulas de seguridad que no han de abrir

3.0 s Aislamiento manual de vapor principal

8.0 s Disparo manual de las bombas de agua de alimentación principal

El fichero “trans1a1.inp” (Anexo E) contiene la secuencia de acciones necesaria para la simulación del transitorio.

4.1.3. Análisis y comparación de resultados

A continuación se comparan los resultados de la simulación que se han realizado con la configuración 1a y la configuración 3 y se comparan con los datos de planta. La finalidad es demostrar que se ajusta mejor el transitorio simulado con la configuración 1a ya que



dicha configuración modela más exactamente el estado de la planta cuando tuvo lugar el transitorio.

- **Potencia nuclear**

Ambas configuraciones reproducen correctamente el instante del disparo de reactor. La simulación con la configuración 1a reproduce mejor la caída de potencia, ajustándose de manera más exacta a los datos de planta (Figura 4.1.3.1.). La diferencia entre la caída de potencia entre las configuraciones es debida a la cinética utilizada.

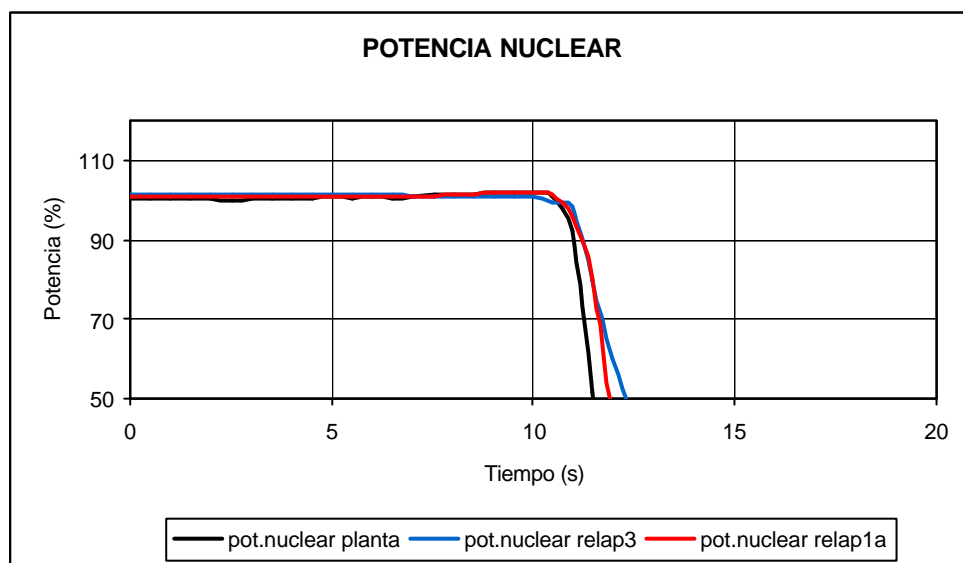


Figura 4.1.3.1. Potencia nuclear

- **Presión del primario y temperatura media**

Se observa la subida inicial de presión en el primario y de temperatura media. Tanto los datos en el inicio del transitorio como al final de éste, son más exactos los simulados con la configuración 1a, tal y como se observa en las Figuras 4.1.3.2. y 4.1.3.3.



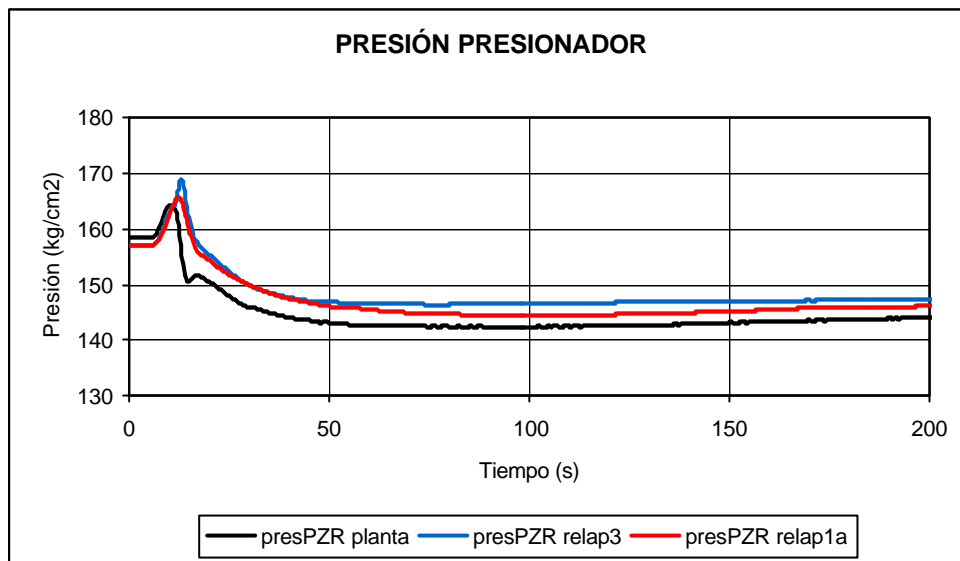


Figura 4.1.3.2. Presión del primario

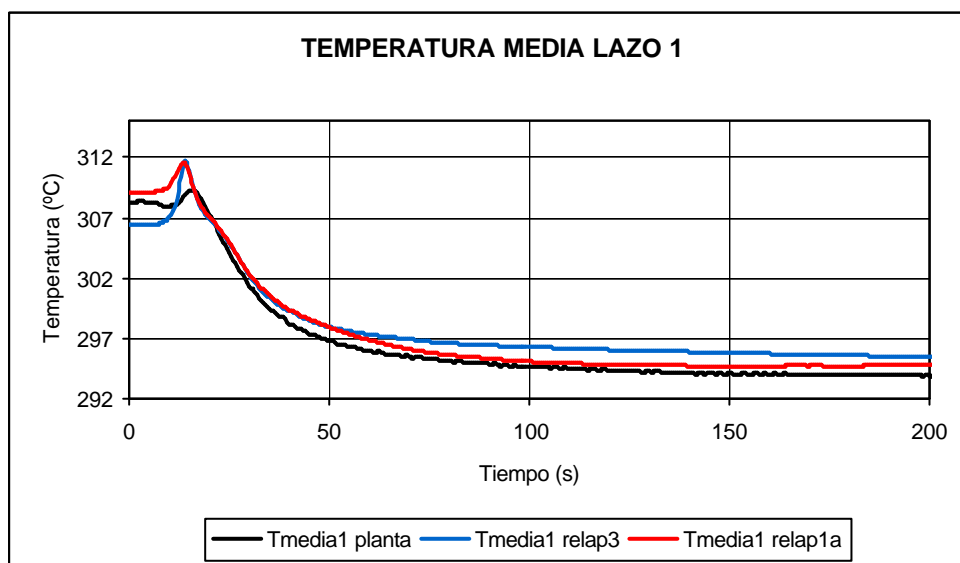


Figura 4.1.3.3. Temperatura media del lazo 1

- **Presión del secundario**

En la subida de presión del secundario se comprueba que los resultados obtenidos no se ajustan con exactitud a los datos de planta (Figura 4.1.3.4.). Puede ser debido a un mal ajuste del área de las válvulas de alivio o a una diferencia en el control de éstas.



Tampoco se dispone de los datos de planta del tarado de las válvulas, pero se comprueba que la presión en el secundario se estabiliza a la misma presión que en la planta, lo que indica que el tarado utilizado (78kg/cm^2) es el correcto.

Esta discrepancia en las válvulas de alivio será analizada más adelante con un estudio de sensibilidad del área.

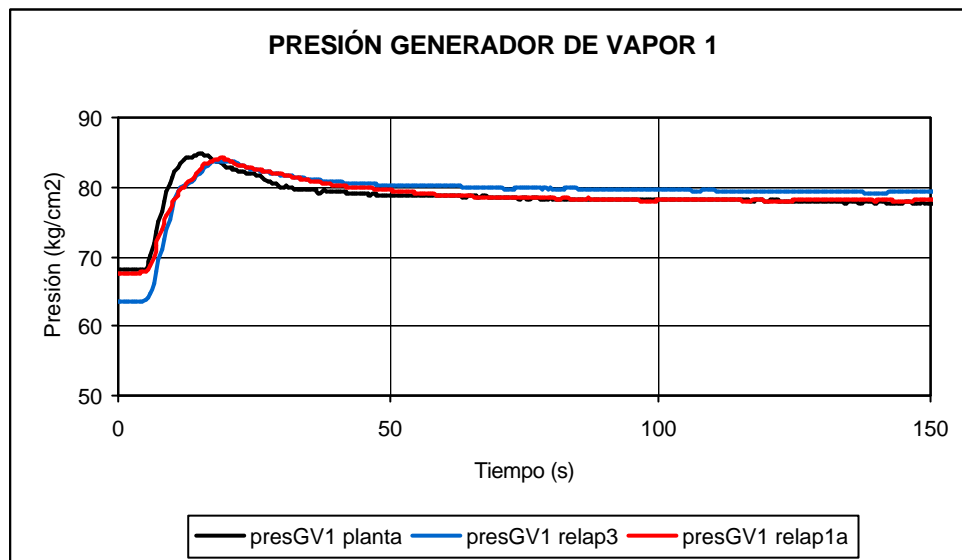


Figura 4.1.3.4. Presión del generador de vapor del lazo 1

- **Sistema de agua de alimentación principal**

Se detectan algunas irregularidades en los datos de planta del sistema de agua de alimentación principal. Analizaremos el lazo 3, ya que dicho lazo es el que más difiere de los demás. Únicamente se dispone de los datos de planta de la válvula de agua de alimentación principal correspondiente al lazo 3.

Las bombas de agua de alimentación principal disparan en el segundo 8, los valores del caudal de la planta no pueden ser tan altos después del disparo (Figura 4.1.3.5.). Estos valores pueden ser provocados por un mal funcionamiento de los caudalímetros.



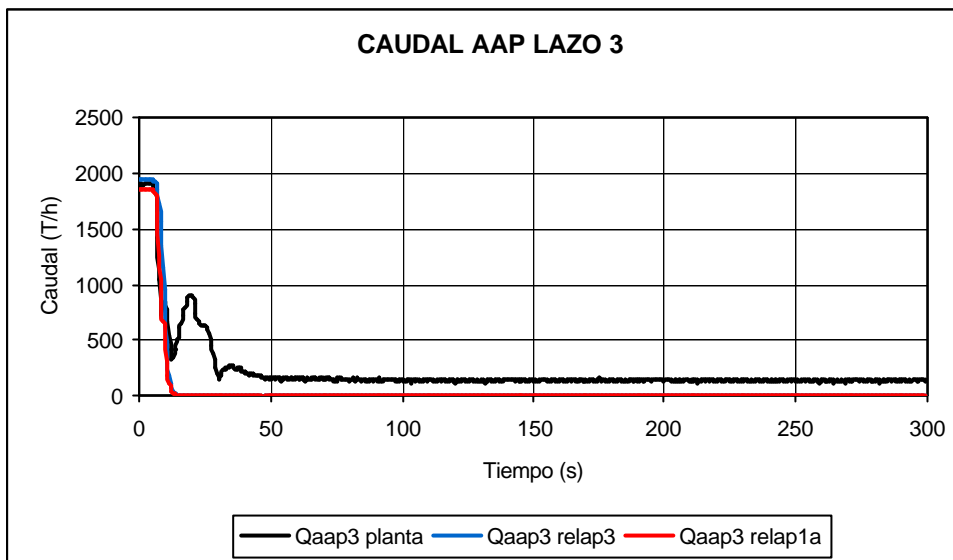


Figura 4.1.3.5. Caudal de agua de alimentación principal del lazo 3

Se consigue reproducir con más exactitud la caída inicial del caudal de vapor simulando en el segundo 3 con pérdida del steam-dump. En la gráfica se pone de manifiesto la escasa fiabilidad de los medidores de caudal de vapor cuando las condiciones se separan de las nominales (Figura 4.1.3.6.). Se detecta, aproximadamente en el segundo 25, un aumento del caudal en los lazos que provoca un cambio en la pendiente de la presión.

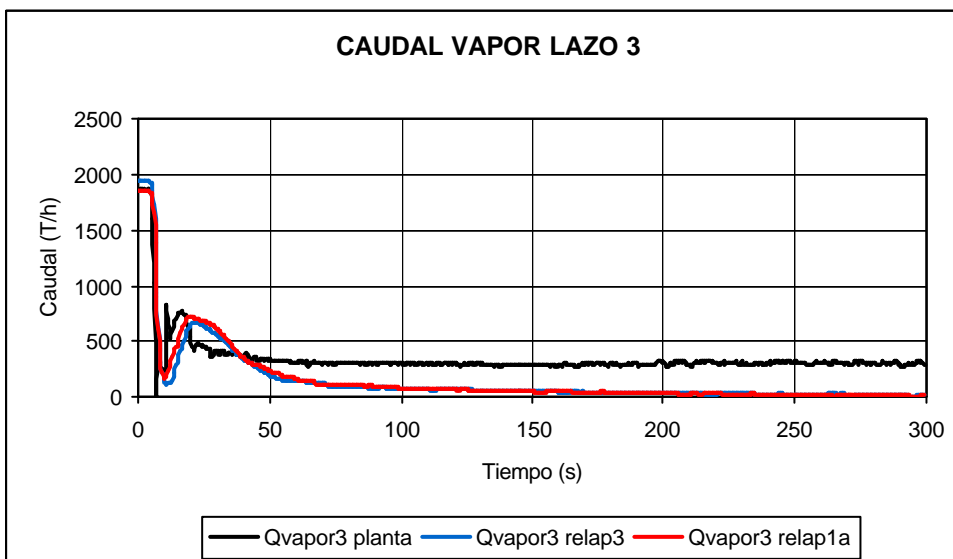


Figura 4.1.3.6. Caudal de vapor del lazo 3



Debido a la medida del caudal de vapor y a la del agua de alimentación, la válvula tiene un comportamiento distinto después del disparo de las bombas de agua de alimentación principal. La posición de las válvulas en Relap1a, cae a 0 a los 105 segundos, mientras que en planta no ocurre así (Figura 4.1.3.7.). Esto se debe a que la variable de Relap graficada incluye la orden de cierre de las válvulas cuando hay señal de aislamiento de agua de alimentación principal por baja temperatura media, coincidente con disparo de reactor, mientras que la de la planta es propiamente demanda de posición por control. Esto no tiene ninguna influencia en los cálculos y se mantiene para evitar oscilaciones en las líneas de agua de alimentación principal.

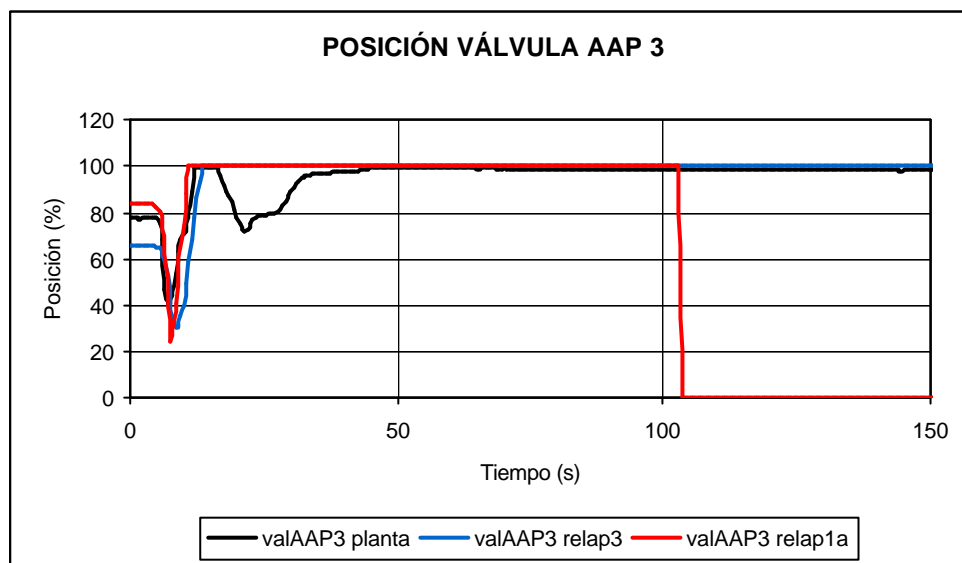


Figura 4.1.3.7. Posición de la válvula de AAP del lazo 3

4.1.4. Conclusión

Se ha podido comprobar que todos los parámetros obtenidos, simulando el transitorio con la configuración 1a, se ajustan mejor que con la 3. Esto ocurre tanto con los datos de partida como en todo el transcurso del transitorio.

Los resultados obtenidos con la configuración 1a son muy razonables si los comparamos con los datos de planta. En la subida de la presión del secundario hay discrepancia entre los datos obtenidos y los de la planta. Esto es debido al funcionamiento de las válvulas de alivio de los generadores de vapor, que será estudiado más adelante.

Durante el transcurso de este transitorio han entrado en funcionamiento diversos sistemas. En la Tabla 4.1.4.1. se recogen todos los sistemas, especificando los parámetros de planta de los que se dispone para el estudio de su comportamiento.



SISTEMAS		PARÁMETRO DE PLANTA
Sistema de alivio del presionador	Válvulas Control	Presión primario
Sistema de rociado del presionador	Válvulas Control	Presión primario
Calentadores	Control	Presión primario
Sistema de seguridad de los GGvV	Válvulas Control	Presión GGvV
Sistema de alivio de los GGvV	Válvulas Control	Presión GGvV
Sistema de aislamiento de Vapor Principal	Válvulas Control	Caudal vapor / Caudal AAP
Sistema de AAP	Válvulas principales antiguas Control válvulas principales antiguas	Posición válvulas / Caudal AAP
	Control turbobomba A	Velocidad TBAAP-A
	Control turbobomba B	Velocidad TBAAP-B
Sistema de AAA	Válvulas turbobomba Control turbobomba	Caudal AAA
	Válvulas motobombas Control motobombas	Caudal AAA
Sistema de barras	Control	Potencia nuclear

Tabla 4.1.4.1 Sistemas que entran en funcionamiento en el transcurso del transitorio

4.2. Disparo de una turbobomba de agua de alimentación principal

Una vez obtenido satisfactoriamente el estado estacionario perteneciente a la configuración 1b, se procede a la simulación de un transitorio para evaluar la respuesta del modelo.

Se cuenta con los datos reales del transitorio ocurrido en la CNV II, el 9 de noviembre de 1994, donde el disparo de una turbobomba de agua de alimentación principal con la planta al 100% de potencia, originó el transitorio.

4.2.1. Estacionario

En el momento que tuvo lugar el transitorio la planta operaba al 100% de potencia y los valores de cinética correspondían a los del ciclo 7, más exactamente a mitad de vida, con una concentración de boro de 832 ppm.

Por causas desconocidas, en el momento que se produjo el transitorio los calentadores de respaldo solo estaban disponibles en un 66%. Para poder simular este hecho, se ha reducido la potencia de los calentadores hasta obtener como máximo el 66% de potencia.



Para el cálculo del transitorio se ha partido del fichero input “EST1b.inp”, que corresponde al modelo de planta de la configuración 1b. Se le ha introducido algunas modificaciones para adaptarlo a la situación real de planta en la fecha del transitorio.

Con el fichero resultante se ha calculado un transitorio nulo para obtener el estado estacionario, fichero “EST1b.rst”. A continuación se muestra una tabla comparativa (Tabla 5.2.1.1.) de los principales parámetros en estacionario, donde se comprueba que los parámetros en estado estacionario se asemejan a los datos reales de planta antes de iniciarse le transitorio.

PARÁMETRO	RELAP CONFIGURACIÓN 1b			PLANTA		
	lazo 1	lazo 2	lazo 3	lazo 1	lazo 2	lazo 3
Potencia nuclear (%)	100.87			100.68		
Temperatura media (°C)	309.16	309.14	309.18	310.03	308.24	310.10
Temperatura caliente (°C)	326.13	326.13	326.13	327.78	324.67	328.25
Temperatura fría (°C)	292.20	292.15	292.22	292.28	291.81	291.95
Presión del presionador (kg/cm2)	157.21			157.66		
Presión de los generadores de vapor (kg/cm2)	67.81	67.75	67.82	68.08	67.88	69.05
Caudal de vapor (T/h)	1853.18	1857.90	1855.14	1843.74	1865.00	1948.04
Caudal de agua de alimentación principal (T/h)	1853.15	1857.88	1855.11	1883.73	1829.65	1920.97
Nivel de los generadores de vapor (%)	50.04	50.04	50.04	49.98	50.00	52.73
Nivel del presionador (%)	57.02			59.78		

Tabla 4.2.1.1. Comparación de los parámetros principales en estado estacionario

4.2.2. Transitorio

El transitorio se inició por el disparo de una turbobomba de agua de alimentación principal con la planta al 100% de potencia, lo que originó señal de runback de turbina hasta el 70% a velocidad de 200% /min y el consiguiente runout de la otra turbobomba, los sistemas de control llevan la planta a los valores correspondientes sin ninguna acción manual del operador.

Para iniciar el transitorio debe dispararse únicamente una turbobomba de agua de alimentación principal. Durante el transcurso del transitorio no hubo ninguna acción manual, el fichero “trans1b.inp” (Anexo E) contiene las líneas de código para la simulación del transitorio. La única acción a introducir es la siguiente:

0.0 s Disparo manual de la turbobomba A de agua de alimentación principal



4.2.3. Análisis y comparación de resultados

A continuación se compara el transitorio simulado con la configuración 1b con la simulación con la configuración 3 y los datos reales de planta.

Al simular el transitorio con la configuración 3, podemos observar que el nivel de los generadores de vapor supera el punto de tarado, 78% a los 280 segundos, y se acciona la señal de parada de la turbina que a su vez acciona la señal de parada del reactor, tal y como se observa en las Figuras 4.2.3.1 y 4.2.3.2.

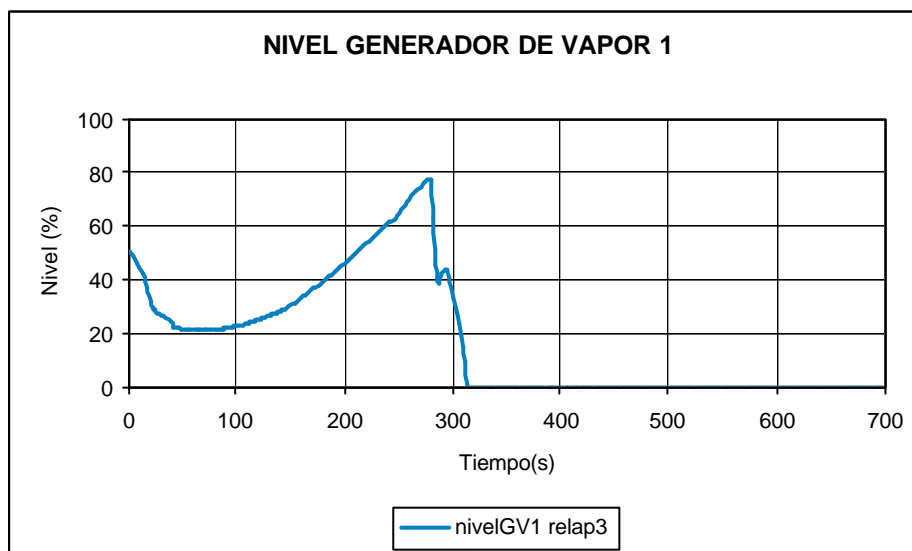


Figura 4.2.3.1. Nivel generador de vapor del lazo 1

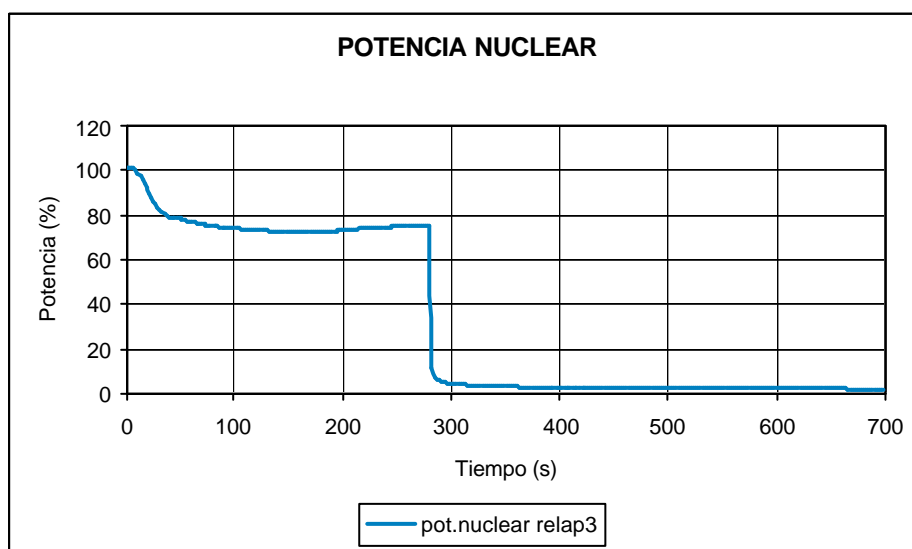


Figura 4.2.3.2. Potencia nuclear



Se anulan las señales de parada de la turbina, imponiendo que las señales por alto nivel en los generadores de vapor sean siempre falsas y no actúen cuando se supere los puntos de tarado, de esta manera no habrá disparo de reactor y podremos observar como actuaría el sistema de agua de alimentación principal en caso de producirse este transitorio.

- **Potencia nuclear**

La disminución inicial de potencia está determinada por el valor de barras de control que se ha seleccionado y podemos comprobar que se ajusta mucho mejor en la configuración 1b, gracias a la utilización de la cinética del momento (Figura 4.2.3.3.).

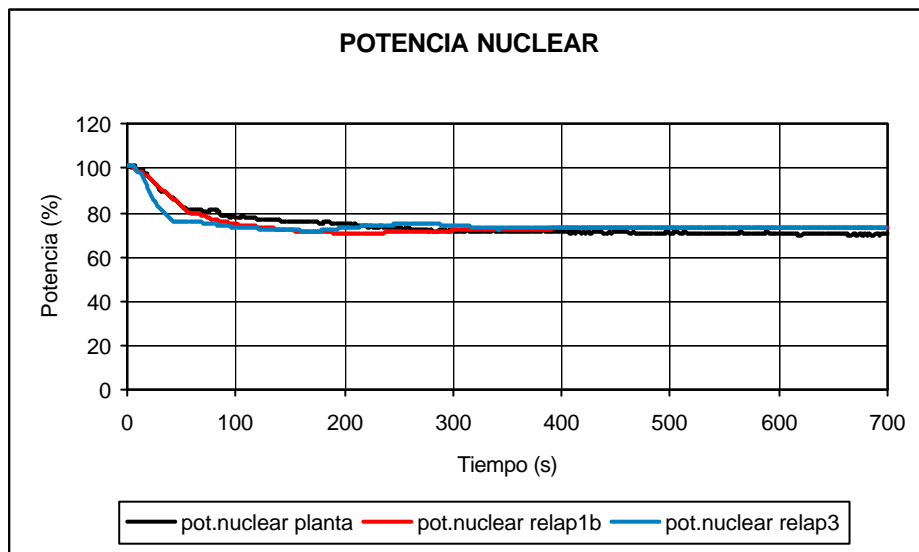


Figura 4.2.3.3. Potencia nuclear

Entre los 100 y 200 segundos hay una ligera diferencia de los valores de potencia. Estas diferencias pueden deberse bien a la medida de potencia en planta, o a que hay un error en la medida de caudales (tanto de vapor como de agua de alimentación). Como disponemos de un conjunto muy limitado de datos de este transitorio no es posible precisar con más exactitud las posibles causas de esta discrepancia.

- **Potencia de turbina**

No se dispone de los datos de planta de la potencia de turbina, pero se puede apreciar en la simulación como la potencia de turbina baja correctamente hasta un 70% (Figura 4.2.3.4)



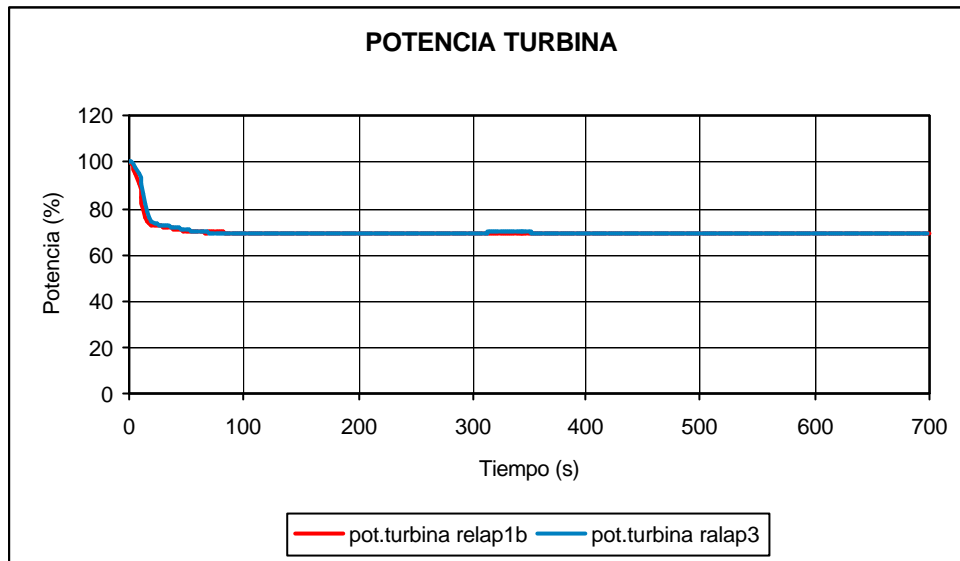


Figura 4.2.3.4. Potencia de turbina

• Presión del secundario

El segundo banco de válvulas del condensador permaneció abierto y atascado durante cierto tiempo, cerrando bruscamente cuando su demanda era de cierre total (Figura 4.2.3.5.). En la figura puede apreciarse el efecto de la posición de las válvulas de condensador en la presión, alrededor de los 60 segundos. En la simulación se ha impuesto el comportamiento del segundo banco del presionador.

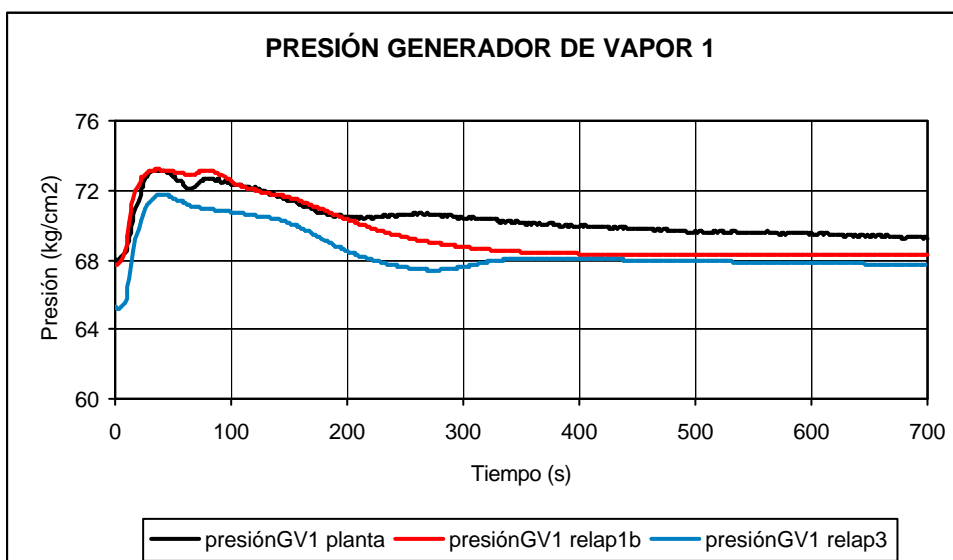


Figura 4.2.3.5. Presión del generador de vapor del lazo 1



Tanto los datos de partida del transitorio como el comportamiento inicial se ajustan mejor con el modelo de la configuración 1b ya que reproduce con más exactitud el estado estacionario de la planta.

- **Temperatura fría**

El efecto anteriormente comentado también tuvo influencia en la temperatura fría, como se observa alrededor del segundo 60. También se observa que los datos de partida del transitorio son más exactos simulando con la configuración 1b (Figura 4.3.4.6.).

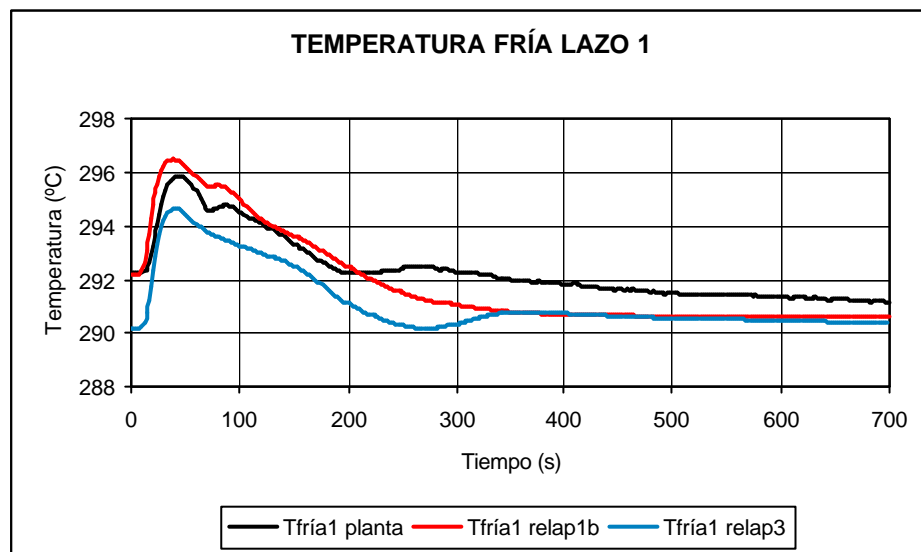


Figura 4.2.3.6. Temperatura fría del lazo 1

- **Sistema de agua de alimentación principal**

Se analizan el caudal de vapor, el caudal de agua de alimentación principal y las válvulas que lo regulan, porque en la configuración 1b se utilizaban las válvulas antiguas.

El caudal de vapor se ajusta de manera más exacta a los datos de planta con la configuración 1b (Figura 4.2.3.7.). Esto es debido a que la potencia con la que operaba la planta era de 2825 MW y dicha potencia es proporcional al caudal de vapor extraído por la turbina. En la configuración 3 la potencia es de 2900 MW, por lo que el caudal de vapor tiene valores superiores.



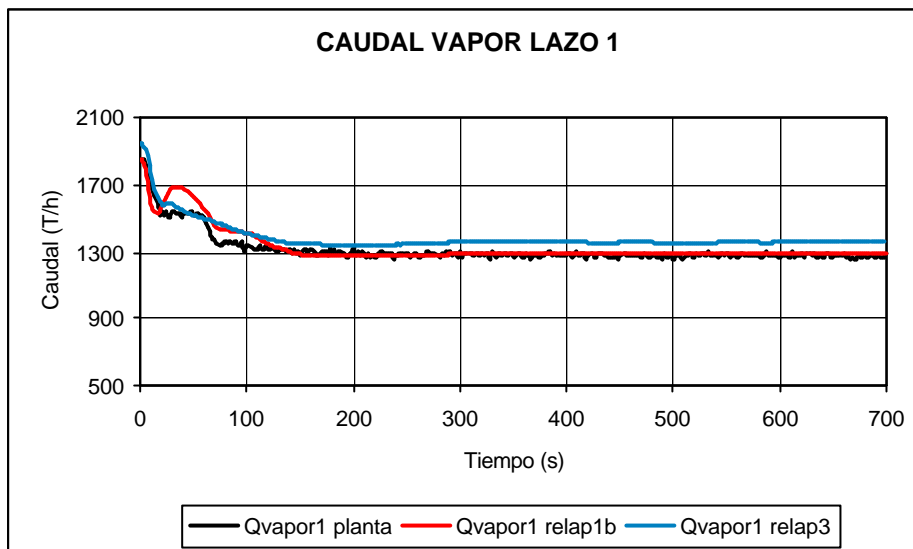


Figura 4.2.3.7. Caudal de vapor del lazo 1

Tanto el comportamiento del caudal de agua de alimentación principal como el de las válvulas que lo regula, son muy parecidos a la planta (Figura 4.2.3.8. y Figura 4.2.3.9.). Se puede comprobar una notable mejora en la simulación con la configuración 1b respecto a la 3. El nivel de los generadores de vapor y el caudal de vapor también influyen sobre el control de las válvulas de agua de alimentación principal, por lo que la posición de las válvulas durante el transitorio es más exacta con la configuración 1b.

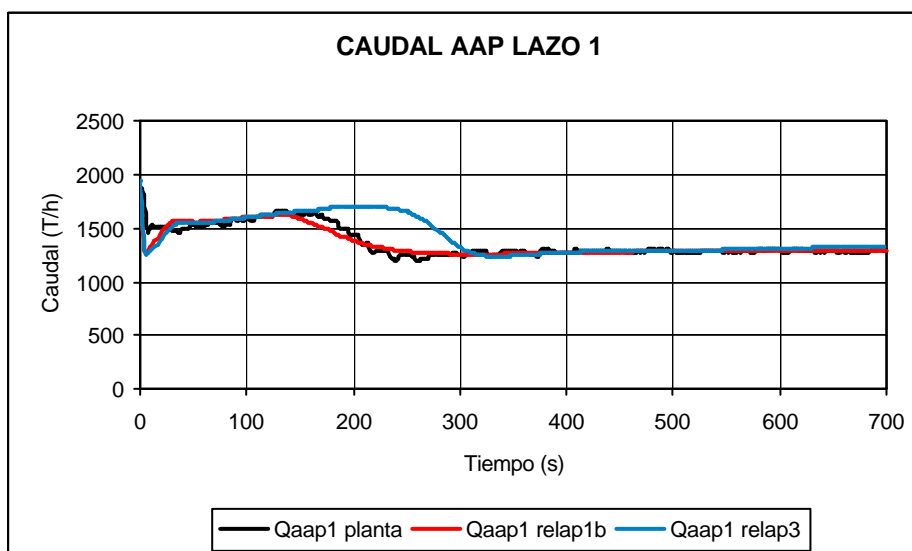


Figura 4.2.3.8. Caudal de agua de alimentación principal del lazo 1



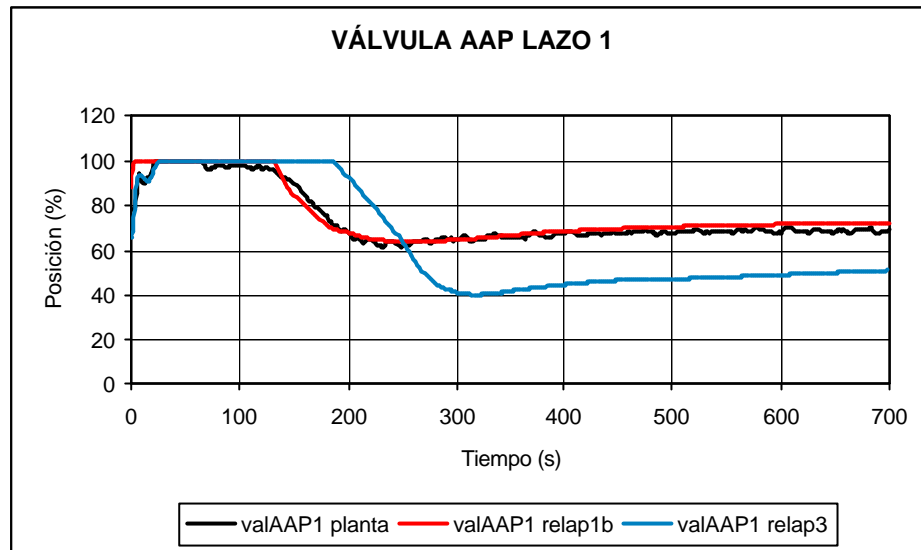


Figura 4.2.3.9. Posición de la válvula de AAP del lazo 1

4.2.4. Conclusión

A la hora de simular un transitorio es importante que el estado estacionario del que se parte, sea lo más parecido al estado estacionario de la planta momentos antes de producirse el transitorio. Se ha podido comprobar que en todo momento se han ajustado de forma más exacta los datos de partida de la configuración 1b a los datos de planta.

El caudal de vapor y la caída inicial de potencia nuclear también se han reproducido con mayor exactitud con la configuración 1b, gracias a los datos de potencia y cinética.

El comportamiento del caudal de agua de alimentación principal y las válvulas que lo regulan nos demuestran que la simulación es más exacta con las válvulas antiguas, ya que en esos instantes aún no habían sido reemplazadas por las nuevas.

Gracias a la obtención de la configuración 1b se ha podido simular con más exactitud este transitorio. Con la configuración 3 no es posible reproducir lo que sucedió en la planta porque en el segundo 280, el nivel de los generadores supera el punto de tarado y se produce disparo del reactor.

A continuación se muestra la Tabla 4.2.4.1., donde se muestran los sistemas que actúan en este transitorio y los parámetros de planta de los que se dispone para el estudio del comportamiento de éstos.



SISTEMAS		PARÁMETROS DE PLANTA
Sistema de alivio del presionador	Válvulas Control	Presión primario
Sistema de rociado del presionador	Válvulas Control	Presión primario
Calentadores	Control	Presión primario
Turbina	Válvulas Control	Potencia nuclear
Steam-Dump	Válvulas Control	Presión GGVV
Sistema de AAP	Válvulas principales antiguas Control válvulas principales antiguas	Posición válvulas / Caudal AAP
	Control turbobomba A	Velocidad TBAAP-A
	Control turbobomba B	Velocidad TBAAP-B

Tabla 4.2.4.1 Sistemas que entran en funcionamiento en el transcurso del transitorio

4.3. Disparo de reactor y disparo de turbina

El transitorio tuvo lugar en la CNV II el 9 de septiembre de 1996, para su simulación se utiliza el modelo perteneciente a la configuración 2 para la obtención estacionario. A continuación se describe la simulación de un transitorio iniciado por el disparo de la turbina y la comparación de los resultados con los datos de planta y con los resultados obtenidos utilizando la configuración 3.

4.3.1. Estacionario

No se tienen datos de la cinética en el momento en el que tuvo lugar el transitorio. Los puntos de tarado de las válvulas de alivio estaban situados en 74, 76.9 y 75 kg/cm² para los lazos 1, 2 y 3 respectivamente.

Para el cálculo del transitorio se ha partido del fichero input “EST2.inp”, que corresponde al modelo de planta de la configuración 2. Se le ha introducido alguna modificación para adaptarlo a la situación real de planta momentos antes del inicio del transitorio.

Con el fichero resultante se ha calculado un transitorio nulo para obtener el estado estacionario, fichero “EST2.rst”. A continuación se muestra la tabla comparativa de los principales parámetros en estacionario (Tabla 4.3.1.1.).



PARÁMETRO	RELAP CONFIGURACIÓN 2			PLANTA		
	lazo 1	lazo 2	lazo 3	lazo 1	lazo 2	lazo 3
Potencia nuclear (%)	101.88			101.58		
Temperatura media (°C)	309.15	309.12	309.16	309.11	308.69	308.93
Temperatura caliente (°C)	326.27	326.27	326.27	327.96	324.77	326.64
Temperatura fría (°C)	292.03	291.98	292.05	-	-	-
Presión del presionador (kg/cm ²)	157.20			156.67		
Presión de los generadores de vapor (kg/cm ²)	67.55	67.49	67.56	67.40	68.45	67.75
Caudal de vapor (T/h)	1871.06	1875.86	1873.05	1865.33	1866.98	1918.73
Caudal de agua de alimentación principal (T/h)	1871.07	1875.87	1873.05	1889.94	1844.07	1883.41
Nivel de los generadores de vapor (%)	50.00	50.00	50.00	48.78	50.05	50.95
Nivel del presionador (%)	57.30			59.23		

Tabla 4.3.1.1. Comparación de los parámetros principales en estado estacionario

4.3.2. Transitorio

El transitorio se inició por causas eléctricas en la red produciéndose disparo de turbina, sin que ello afectase a ninguno de los sistemas del primario y secundario, por tanto podría considerarse como un disparo “puro” de turbina.

La subida de presión en el secundario provocó la apertura de las válvulas de alivio, cuyos puntos de tarado estaban situados en 74, 76.9 y 75 kg/cm² para los lazos 1, 2 y 3 respectivamente. Tras la correspondiente disminución de la presión los operadores aislaron manualmente los generadores de vapor, modificaron los puntos de tarado de las válvulas de alivio y modularon las válvulas de control del agua de alimentación auxiliar para mantener la presión del secundario y la temperatura media del primario en los valores correspondientes a carga nula, al tiempo que se iba recuperando la presión del primario debido a la acción de los calentadores del presionador.

Después del aislamiento de vapor se controlaron manualmente tanto los puntos de tarado de las válvulas de alivio como el caudal de agua de alimentación auxiliar. Para su simulación se ha intentado reproducir dicha operación mediante la siguiente secuencia de acciones:

0.0 s Setpoints Alivio GGVV (kg/cm²) : 74.2, 77.6, 77.2

3.0 s Disparo de turbina

55.0 s Aislamiento manual GGVV (vapor y purga)



55.0 s	Setpoints Alivio GGVV (Kg/cm ²) : 76.23, 77.6, 77.2
	Modulación válvulas AAA de turbobomba lazos 1 y 3: 15%
	Modulación válvulas AAA de turbobomba lazo 2: 0%
	Cierre manual Steam-dump (Modo P 90.Kg/cm ²)
175.0 s	Disparo turbobomba AAA
300.0 s	Modulación válvulas AAA de motobombas: 75%

El fichero “trans2.inp” (Anexo E) contiene la secuencia de acciones necesaria para la simulación del transitorio.

4.3.3. Análisis y comparación de resultados

A continuación se comparan los resultados de la simulación que se ha realizado con la configuración 2 y la configuración 3 y se comparan con los datos de planta. La finalidad es demostrar que se ajusta mejor el transitorio simulado con la configuración 2, ya que dicha configuración modela más exactamente el estado de la planta cuando tuvo lugar el transitorio.

- **Potencia nuclear**

Se consigue reproducir el aumento de potencia inicial debido al incremento de la densidad del moderador ocasionado por el aumento de presión del primario y la temperatura media. La configuración 2 reproduce más exactamente el aumento de potencia y su posterior caída, a pesar de no tener datos de la cinética del momento en el que se produjo el transitorio (Figura 4.3.3.1.). En su ausencia se ha utilizado la cinética del ciclo 7, a mitad de vida.



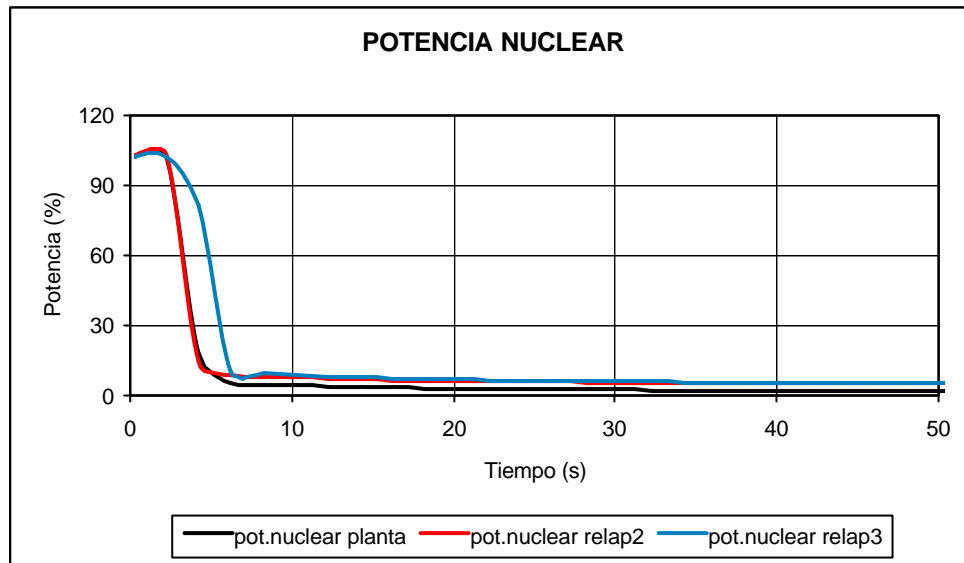


Figura 4.3.3.1. Potencia nuclear

- **Presión del secundario y temperatura media**

Durante los primeros 9 segundos se produce un aumento de presión en el secundario y seguidamente una bajada debido a la apertura de las válvulas de alivio y las válvulas de seguridad que actuaron correctamente (Figura 4.3.3.2.). Tras la correspondiente disminución de la presión los operadores aislaron manualmente los generadores de vapor, modificaron los puntos de tarado de las válvulas de alivio y modularon las válvulas de control del agua de alimentación auxiliar para mantener la presión del secundario y la temperatura media del primario en los valores correspondientes a carga nula (Figura 4.3.3.3.).

La simulación con la configuración 2 reproduce con exactitud el comportamiento de la presión en el secundario y el de la temperatura media. Se observa que los datos del estacionario del que se parte también son los óptimos.



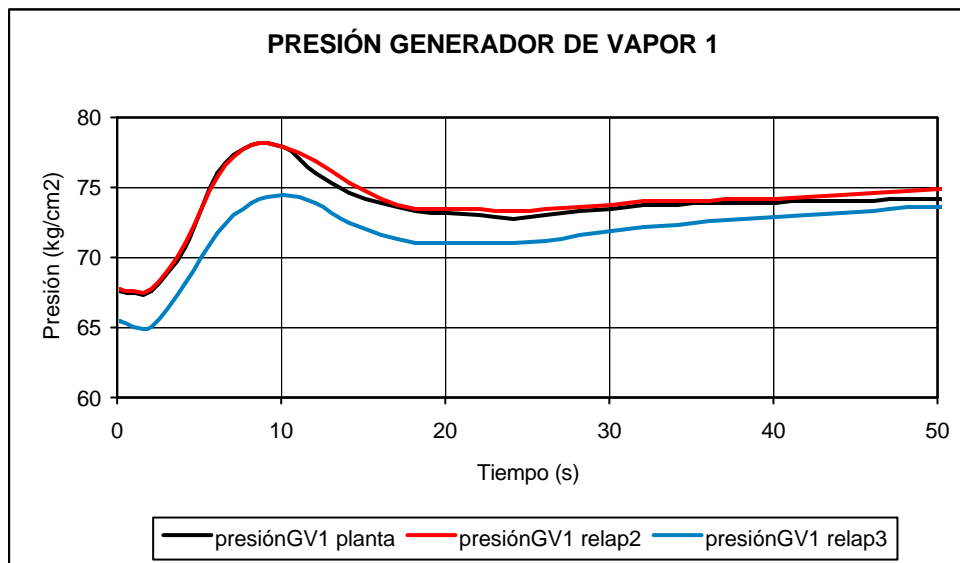


Figura 4.3.3.2. Presión del generador de vapor del lazo 1

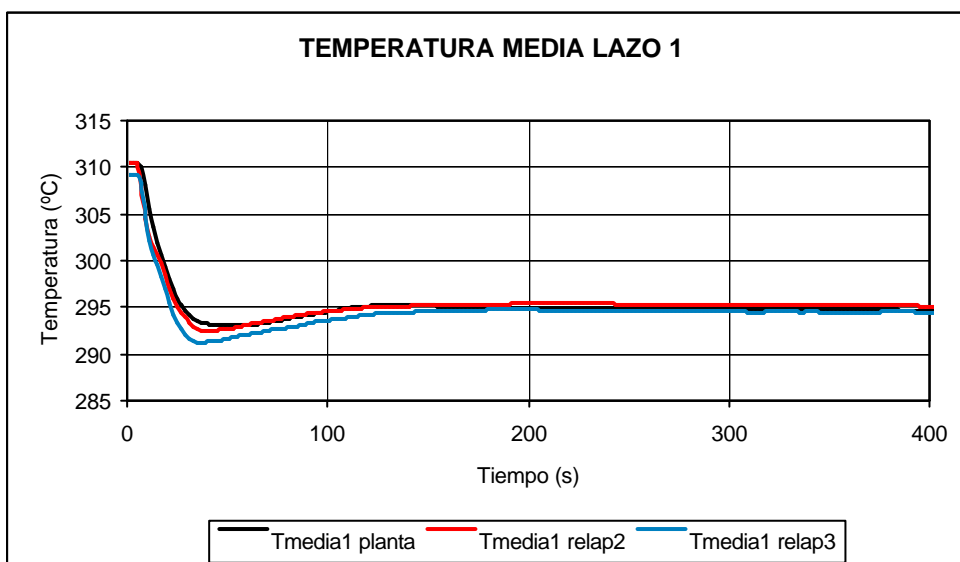


Figura 4.3.3.3. Temperatura media del lazo 1



- **Nivel de los generadores de vapor**

Se observa que la configuración 2 reproduce la evolución del nivel de los generadores de vapor, con una disminución pronunciada al principio y una ligera recuperación alrededor de los 20 segundos (Figura 4.3.3.4.).

El nivel de los generadores de vapor se reproduce con mayor exactitud con la configuración 2. Esto es debido a una modificación en el control de las válvulas de alivio que tuvo lugar en la configuración 3, reposición del integrador.

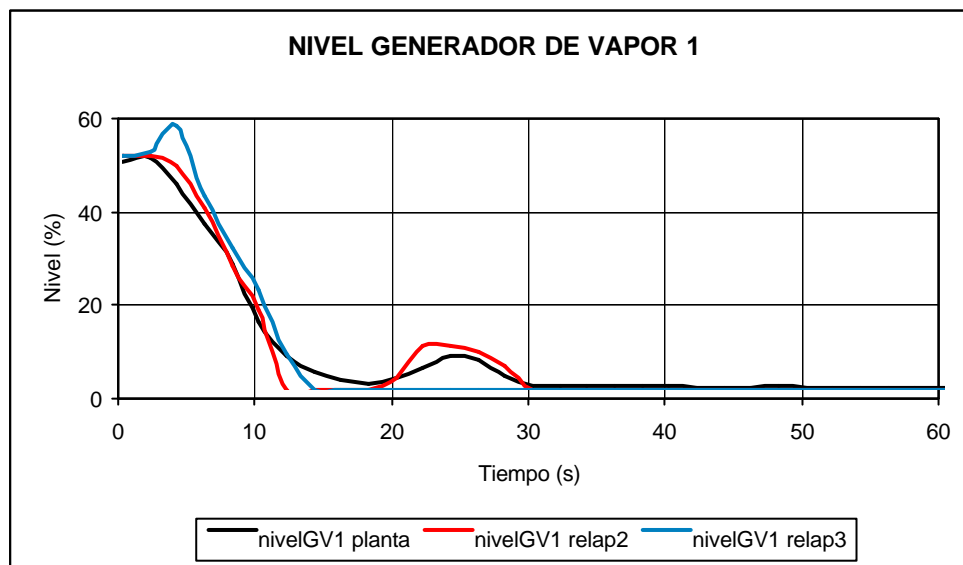


Figura 4.3.3.4. Nivel del generador de vapor del lazo 1

- **Caudales de vapor y de agua de alimentación principal**

La medida de planta de los caudales de vapor presenta unas oscilaciones excesivamente bruscas, debidas a las aperturas y cierres de las válvulas. Si se comparan los valores medidos con los calculados por Relap se observa que el comportamiento y valores son similares en ambos casos (Figura 4.3.3.5.).

En el caso de la configuración 2 se ajusta mejor a los datos de planta ya que la potencia es menor y se ve reflejado en el caudal de vapor.



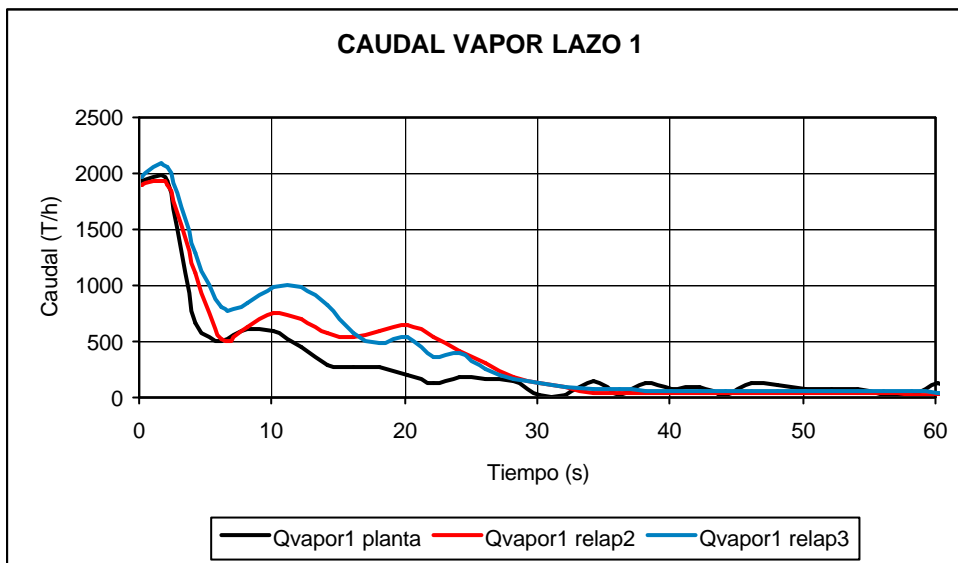


Figura 4.3.3.5. Caudal de vapor del lazo 1

Tanto en el caudal de agua de alimentación principal como las válvulas que lo regulan, la simulación es más exacta con la configuración 2 (Figura 4.3.3.6. y Figura 4.3.3.7.). Esto es debido a la menor potencia y al efecto del nivel de los generadores de vapor, ya que éste tiene una influencia directa sobre el control de las válvulas de agua de alimentación principal. Las válvulas de agua de alimentación principal como su control son las mismas para ambas configuraciones.

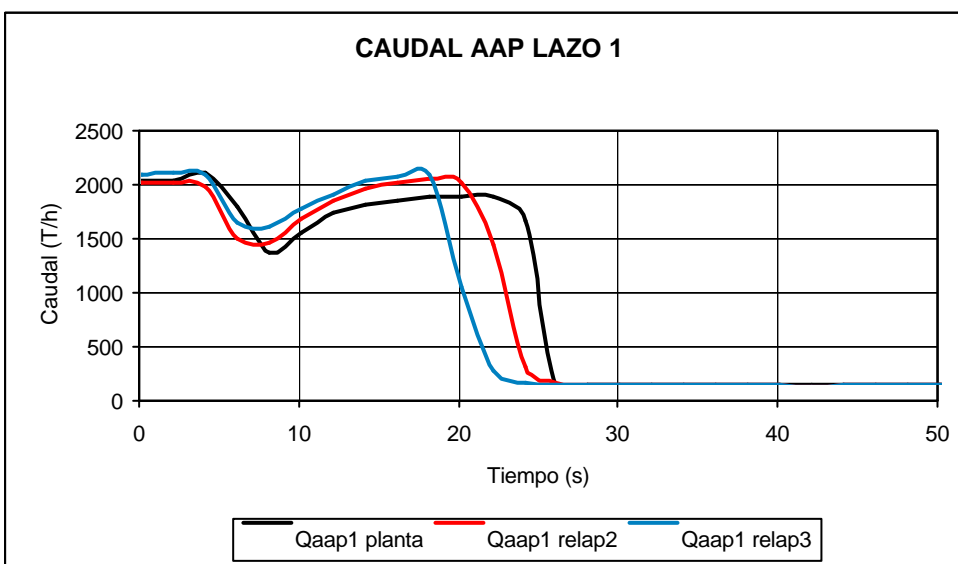


Figura 4.3.3.6. Caudal de vapor del lazo 1



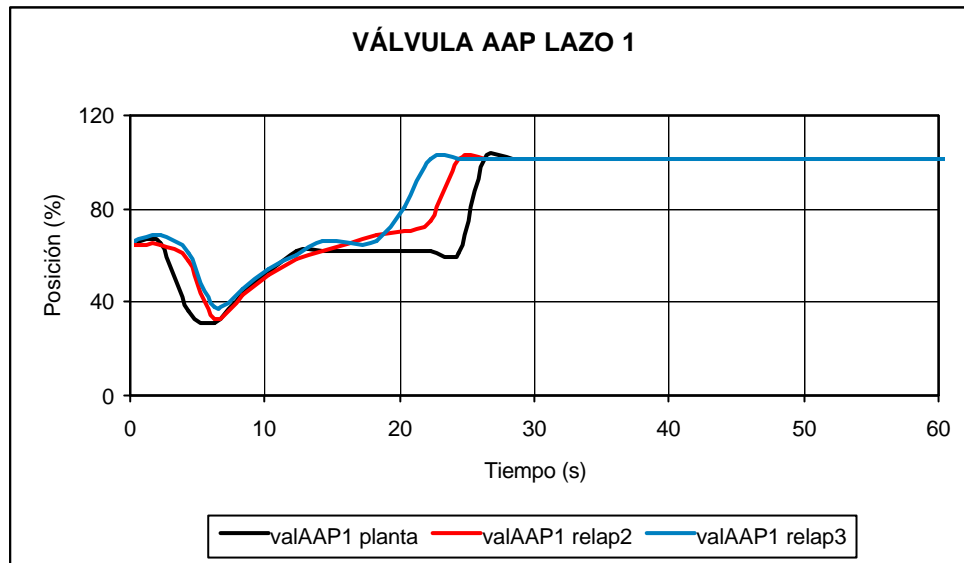


Figura 4.3.3.7. Caudal de vapor del lazo 1

4.3.4. Conclusión

Se ha podido comprobar que en todo momento se han ajustado de forma más exacta los datos de partida de la configuración 2 a los datos de planta.

Todos los datos de partida se ajustan de forma exacta a los datos de planta, lo que significa que se parte de un estado estacionario similar. A pesar de no tener los datos de la cinética, la simulación con la cinética del ciclo 7 a mitad de vida y la potencia de 2825 MW, reproduce con exactitud la caída de potencia nuclear y el caudal de vapor.

El comportamiento de las válvulas de alivio influye en la correcta simulación de la presión del secundario, nivel de los generadores de vapor, caudal de vapor y como consecuencia el caudal de agua de alimentación y comportamiento de las válvulas.

A continuación se muestra la Tabla 4.3.4.1., donde se muestran los sistemas que actúan en este transitorio y los parámetros de planta de los que se dispone para el estudio del comportamiento de éstos.



SISTEMAS		PARÁMETRO DE PLANTA
Sistema de purga de los GGVV	Válvulas Control	Caudal vapor
Sistema de aislamiento de Vapor Principal	Válvulas Control	Caudal vapor / Caudal AAP
Sistema de AAP	Válvulas principales Control válvulas principales	Posición válvulas / Caudal AAP
Sistema de AAA	Válvulas turbobomba Control turbobomba	Caudal AAA
	Válvulas motobombas Control motobombas	Caudal AAA
Sistema de barras	Control	Potencia nuclear

Tabla 4.3.4.1 Sistemas que entran en funcionamiento en el transcurso del transitorio



5. MATRIZ DE CUALIFICACIÓN

Hasta ahora únicamente se disponía de la simulación de un transitorio real ocurrido en la CNV II. Se trata de un rechazo de carga de turbina del 100% al 50% que tuvo lugar tras la recarga de combustible del año 1999 [4]. Fue simulado con el modelo de planta correspondiente a la configuración 3. Gracias a dicho transitorio se pudieron ajustar varios parámetros del modelo intentando asemejar los datos de la simulación a los datos de planta. Aún no se dispone de ningún transitorio real significativo de planta perteneciente a la configuración 4.

Gracias a la simulación de los cuatro transitorios anteriores, se amplía notablemente la base de datos para poder ajustar sistemas y parámetros que entran en funcionamiento durante los transitorios.

Se ha creado una matriz donde aparecen sistemas o componentes a ajustar y los transitorios donde actúan en funcionamiento nominal estable, para tener una base de datos funcional donde se pueda consultar que sistemas entran en funcionamiento en cada transitorio y el parámetro de planta del que se dispone para poder verificar el correcto funcionamiento de los sistemas o si es necesario la realización de un estudio para su ajuste.

5.1. Estructura de la matriz de cualificación

En la simulación de transitorios entran en funcionamiento sistemas, controles y componentes que normalmente no actúan en funcionamiento nominal estable. Por este motivo, es de gran interés clasificarlos para obtener una base de datos a partir de la cual se pueda proceder a un estudio y ajuste de los mismos.

En las filas de la matriz, se sitúan los sistemas que pueden entrar en funcionamiento a lo largo de un transitorio. Estos sistemas pueden estar compuestos de componentes, controles o componentes con sus respectivos controles. En muchas ocasiones, si un componente entra en funcionamiento, el control asociado a dicho componente también actúa. En estos casos se ha creado únicamente una fila que abarca tanto el componente como su control asociado.

En las columnas de la matriz, se sitúan todos los transitorios reales de planta que se disponen hasta el momento.

Se rellenan las celdas de la matriz, especificando el parámetro de planta del que se dispone donde influye el comportamiento del sistema que entra en funcionamiento.



5.2. Matriz de cualificación para el caso de la CNV II

Se ha realizado la matriz para el caso particular de la CNV II. Se dispone de los siguientes cinco transitorios reales que han tenido lugar en la planta (Tabla 5.2.1).

	Transitorio N°	Fecha	Configuración
Aislamiento de vapor principal inadvertido	1	26-jun-89	1a
Disparo de reactor, turbina y bombas principales	2	02-dic-91	1a
Disparo de una turbobomba de AAP	3	09-nov-94	1b
Disparo de reactor y disparo de turbina	4	09-sep-96	2
Rechazo de carga de la turbina del 100% al 50%	5	15-may-99	3

Tabla 5.2.1. Transitorios reales de planta de la CNV II

Estos transitorios se sitúan en las columnas de la matriz, en el caso que se obtenga otro transitorio solo será necesario añadirle una nueva columna.

Se han introducido en la matriz todos los sistemas de la CNV II que pueden tener una influencia significativa en el transcurso de un transitorio. Dentro de un sistema se puede distinguir entre el componente que lo compone y el control de éste. En los casos que el componente y el control entran en funcionamiento conjuntamente se han unificado, con el fin de no crear filas redundantes. En otros casos, únicamente se ha representado el control del sistema ya que el componente no está sujeto a ajustes.

Durante la simulación de los transitorios se han especificado los sistemas que entran en funcionamiento en cada uno y el parámetro de planta del que se dispone en el cual se refleja el funcionamiento de cada sistema. La matriz se rellena con dichos parámetros, que sirven como datos reales a la hora de realizar ajustes o análisis de sensibilidad.

A continuación se muestra el estado final de la matriz que se ha obtenido con los datos disponibles (Tabla 5.2.2.).



	TRANSITORIO 1	TRANSITORIO 2	TRANSITORIO 3	TRANSITORIO 4	TRANSITORIO 5
Sistema de seguridad del presostador	Válvulas: Control				
Sistema de alivio del presostador	Válvulas: Control	Presión primario	Presión primario		Presión primario
Sistema de retención del presostador	Válvulas: Control	Presión primario	Presión primario		Demandas aperturas / Presión primario
Calentador	Válvulas: Control	Presión primario	Presión primario		Presión primario
Sistema de seguridad de los CGV	Válvulas: Control	Presión CGV			
Sistema de alivio de los CGV	Válvulas: Control	Presión CGV		Presión CGV	
Sistema de purga de los CGV	Válvulas: Control	Caudal vapor		Caudal vapor	
Sistema de aislamiento de Vapor Principal	Válvulas: Control	Caudal vapor / Caudal AAP		Caudal vapor / Caudal AAP	
Turbinas	Válvulas: Control		Potencia nuclear		Potencia turbinas
Consumos Propios	Válvulas: Control				Presión GG/V
Steam-Dump	Válvulas: Control		Presión GG/V		Presión GG/V
Sistema de AAP	Válvulas principales antigas: Caudal válvulas principales antigas	Presión válvulas / Caudal AAP	Presión válvulas / Caudal AAP		Presión válvulas / Caudal AAP
	Válvulas principales: Control válvulas principales				
	Válvulas principales: Control válvulas principales				
	Válvulas de bypass: Control válvulas bypass				
Sistema de AAP	Control turbotompa A	Velocidad TEAAP-A	Velocidad TEAAP-A		Velocidad TEAAP-A
	Control turbotompa B	Velocidad TEAAP-B	Velocidad TEAAP-B		Velocidad TEAAP-B
	Válvulas turbotompa	Caudal AAP		Caudal AAP	
	Válvulas mototompa	Caudal AAP		Caudal AAP	
Sistema de inyección de seguridad alta	Válvulas: Control				
Sistema de inyección de seguridad baja	Válvulas: Control				
Sistema de barras	Control	Potencia nuclear	Potencia nuclear	Potencia nuclear	Potencia banco D

Tabla 5.2.2. Matriz de cualificación



5.3. Ejemplo de un ajuste de un componente

A continuación se realiza un ajuste del área de las válvulas de alivio de los generadores de vapor. En la matriz de cualificación del apartado anterior podemos comprobar que dicho sistema entra en funcionamiento en varios transitorios, lo que ofrece más información para realizar correctamente el ajuste.

Las válvulas de alivio de los generadores de vapor se nodalizan con un tipo predeterminado de válvula que ofrece el programa Relap5/Mod3.2 y que, como en general sucede con los modelos no reproduce exactamente la forma física de las válvulas por lo que el área debe introducirse como dato. En defecto de transitorios de cualificación el área se ajusta teniendo en cuenta la diferencia de presiones y el caudal de vapor especificado por el diseño (hoja de datos de la válvula).

El área con el cual se nodalizan las válvulas corresponde a 0.00948 m^2 , dicho dato se obtuvo de los informes realizados por PMSA mediante ajustes, utilizando los transitorios de disparo de reactor y de aislamiento de vapor, transitorios donde se produjo la apertura de dichas válvulas.

A continuación se realiza un análisis de sensibilidad para determinar el área exacta a introducir en el input del nuevo modelo. En el estudio se tiene en cuenta la información de la hoja de datos de la CNV II y se ajusta con los transitorios reales de disparo de turbina y aislamiento de vapor simulados anteriormente, como refleja la matriz de cualificación.

La hoja de datos indica que el área adecuada debe dar paso a un caudal de vapor de 122.218 kg/s cuando la diferencia de presiones es de $83.43 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Mediante un fichero input que reproduce un pequeño tramo que contiene las válvulas de aislamiento de vapor de los generadores de vapor, fijando la diferencia de presiones y haciendo un barrido de áreas hasta determinar el área que nos proporcione el caudal de vapor especificado en la hoja de datos. El esquema del input es el siguiente (Figura 5.3.1.).

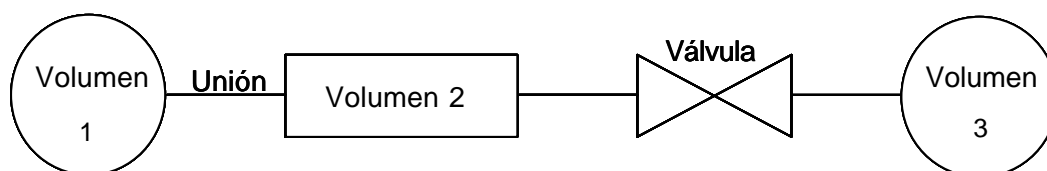


Figura 5.3.1. Esquema del tramo simulado de la válvula de alivio de un GV



El Volumen 1 corresponde al generador de vapor, donde se impone la presión de $83.43 \cdot 10^5$ Pa, que especifica la hoja de datos. A continuación viene una unión que conecta el Volumen 2, que nodaliza el tramo de tubería. La válvula contendrá el área que se debe ir modificando hasta encontrar el área deseada que conecta con el Volumen 3 que nodaliza el lugar donde será expulsado el vapor, cuya presión es la atmosférica.

Introduciendo el archivo input “ajuste.inp” (Anexo F) en el programa Relap y simulando durante 3000 segundos, se obtiene un output y un restart con los datos del caudal de vapor para la diferencia de presiones y el área fijado.

El barrido de áreas y los caudales obtenidos han sido los siguientes (Tabla 5.3.1.)

Área (m2)	Caudal (kg/s)
0.00932	122.0995
0.009324	122.1519
0.009325	122.1650
0.009326	122.1780
0.009327	122.1911
0.009328	122.2042
0.009329	122.2173
0.009330	122.2304
0.009340	122.3614
0.009400	123.1471
0.009480	124.1946

Tabla 5.3.1. Áreas y caudales calculados



El área que más se ajusta al caudal de 122.218 kg/s es 0.009329 m² que exactamente da un caudal de vapor de 122.2173 kg/s, no se intenta ajustar más el caudal para no tener que introducir un número con demasiados decimales.

→ área actual: 0.009480 m²

→ área calculada: 0.009329 m²

El área calculada es un 1,6 % menor que la utilizada actualmente. A continuación se simulan los transitorios de disparo de turbina y de aislamiento de vapor para ver la influencia que puede tener esta diferencia de área sobre la presión del secundario.

Se comprueba que la diferencia que existe entre el área calcula con la utilizada anteriormente es mínima en ambos transitorios, no apreciable a la vista. En la Figura 5.3.2. se ha vuelto a simular la presión del secundario en el transitorio de aislamiento de vapor utilizando ambas áreas y la Figura 5.3.3. corresponde al transitorio de disparo de turbina y disparo de reactor.

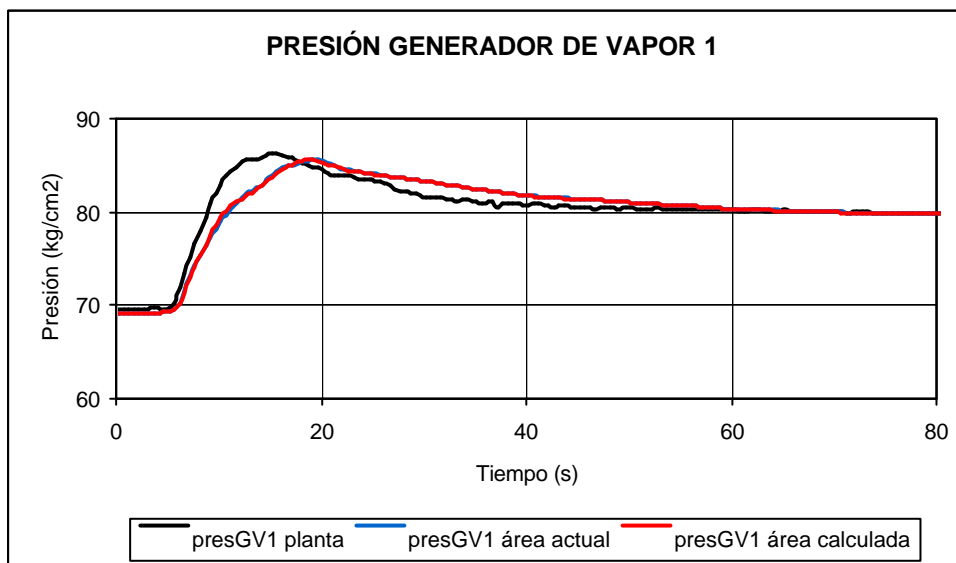


Figura 5.3.2. Presión del generador de vapor del lazo 1



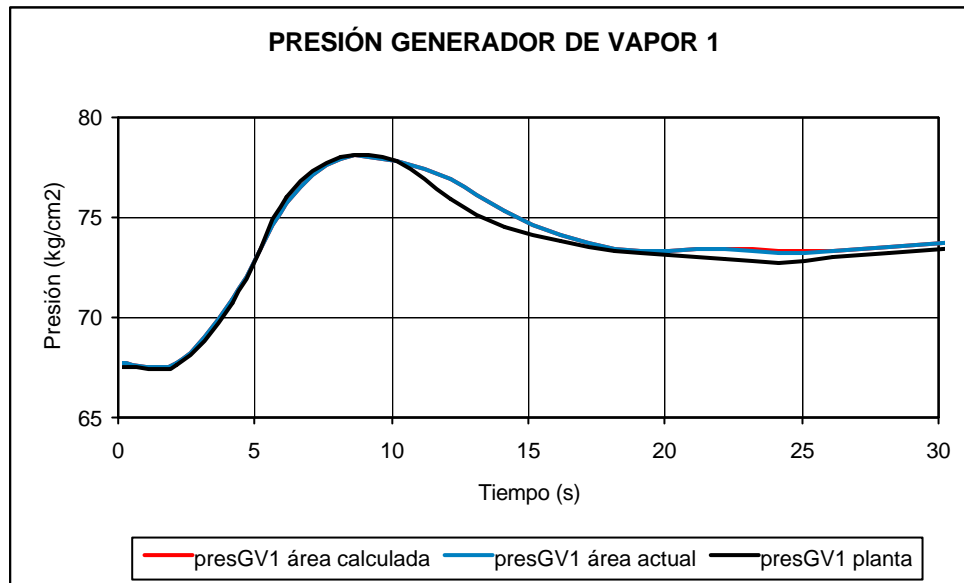


Figura 5.3.3. Presión del generador de vapor del lazo 1

Las gráficas de la simulación de ambos transitorios con el área utilizada actualmente y el área calculada, indican que la diferencia entre áreas no es significativa. Se vuelven a simular los dos transitorios aumentando y disminuyendo un 10% el área. Se pretende comprobar que el área calculada es la que mejor se ajusta, teniendo como referencia la presión del secundario.

Área calculada: 0.009329 m^2

Área (+10%): 0.010262 m^2

Área (-10%): 0.008396 m^2

En las gráficas siguientes (Figura 5.3.4. y Figura 5.3.5.) se puede comprobar que aumentando y disminuyendo un 10% el área calculada tampoco se obtienen cambios significativos en la presión del secundario de ambos transitorios.

Aumentando un 10% el área calculada, la presión del secundario se ajusta ligeramente mejor a los datos de planta cuando la presión aumenta. En cambio, al disminuir la presión, el área que mejor reproduce la bajada es el área a la cual le hemos restado el 10%. Debido a esto, el área que mejor ajusta la presión del secundario de los transitorios simulados a los datos de planta, es el área calculada.



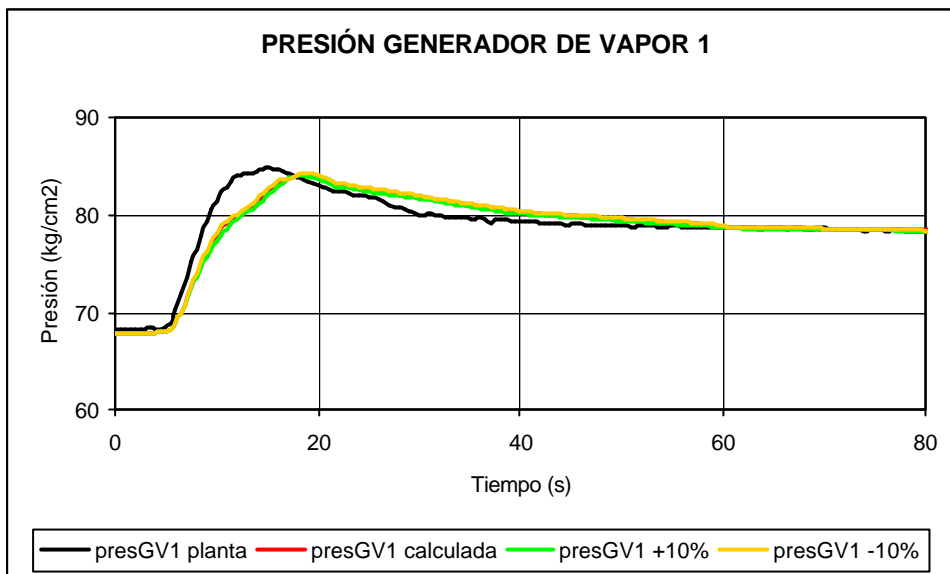


Figura 5.3.4. Presión del generador de vapor del lazo 1

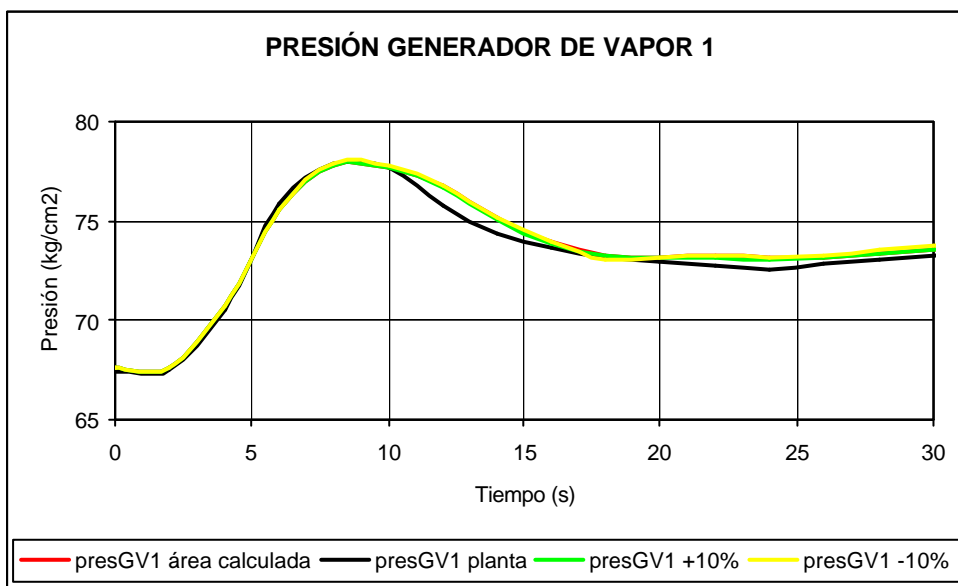


Figura 5.3.5. Presión del generador de vapor del lazo 1



6. Programa “Modificar”

6.1. Introducción

La simulación de transitorios se realiza partiendo de los datos de entrada proporcionados por el restart resultante de la simulación de la planta y el input correspondiente en cada transitorio. Los datos de planta de los que se parten tienen que ser correctos para no obtener resultados erróneos. Es necesario un trabajo constante en la revisión de los modelos de planta que se utilizan. Dentro del área de estudios termohidráulicos hay un grupo encargado de realizar esta actividad.

Se trabaja mayoritariamente en la mejora del modelo perteneciente a la configuración 4, ya que esta configuración es la que describe el estado actual de la planta de la CNV II. Estas mejoras y correcciones deben ser utilizadas en el resto de las configuraciones.

La creación del programa “Modificar” tiene como objetivo la obtención de cualquier configuración a partir de la última versión de la configuración 4, de esta manera cada vez que se obtenga una configuración anterior estará actualizada de igual modo que la última. No será necesario introducir cada modificación o corrección en cada una de las configuraciones, será suficiente seguir trabajando únicamente sobre la configuración 4 a la hora de realizar trabajos de revisión en el modelo de planta.

El programa también tiene como finalidad poder obtener un input con la cinética que se desee sin tener que introducir los cambios uno a uno. Una vez obtenido el input es necesario que se introduzca manualmente la concentración de boro adecuada.

6.2. Descripción del programa “Modificar”

Para cambiar de configuración mediante el programa “Modificar” se ha creado uno archivo de texto para cada una, que contiene únicamente las líneas de código que son necesarias modificar o añadir para la obtención de cualquier configuración a partir de la 4.

También se han creado archivos de texto que contienen las líneas a modificar para poder escoger la cinética. Los archivos contienen la cinética correspondiente a un ciclo y distingue entre principio, mitad y final de vida.

El programa modificar es capaz de obtener cualquier configuración y nos da la opción de escoger la cinética. Este automatismo se ha creado con el lenguaje Visual Basic 6.0, perteneciente al paquete Visual Studio 6 de Microsoft.



Mediante la pantalla principal, el usuario interactúa con el programa. A continuación se muestra el aspecto de la interfaz del programa (Figura 6.2.1.).

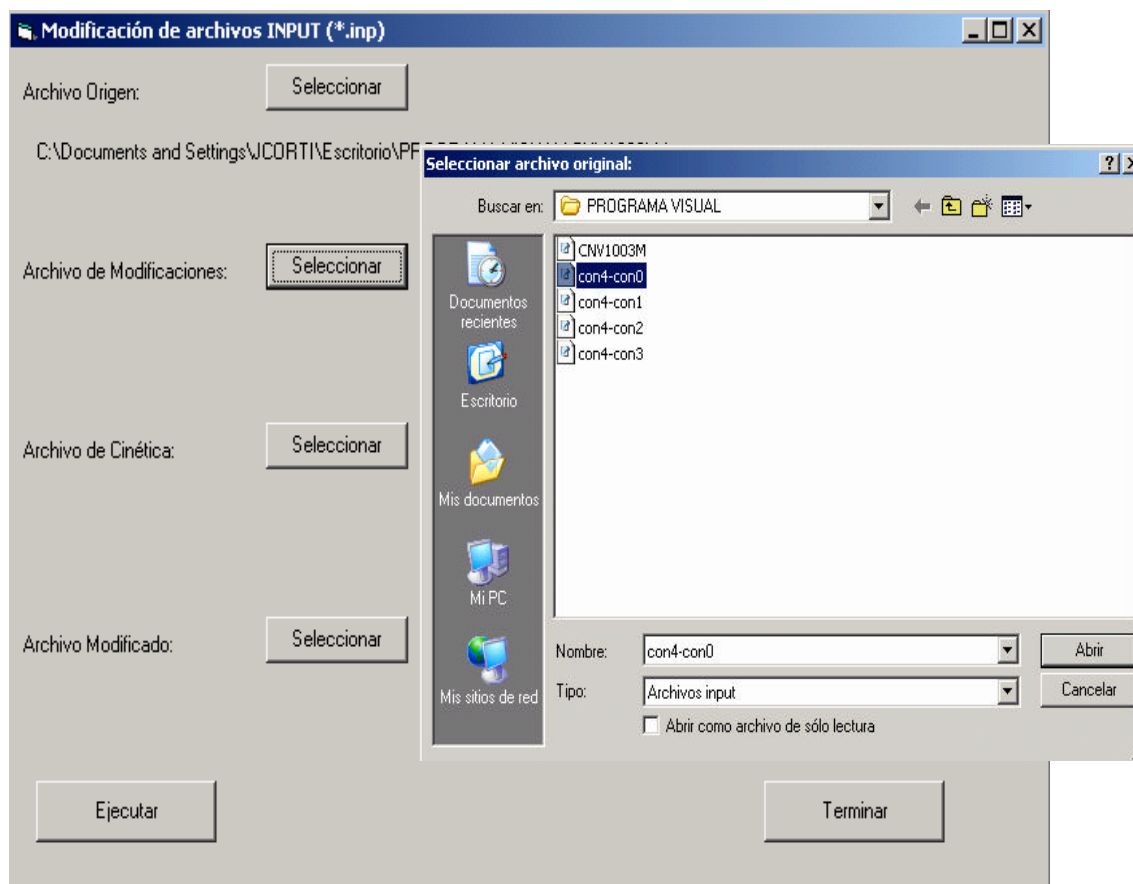


Figura 6.2.1. Pantalla principal del programa

En la pantalla principal del programa encontramos las siguientes entradas:

Archivo origen: se debe introducir el archivo original sobre el cual se desean hacer los cambios. Es el archivo correspondiente al input de la configuración 4. Clicando sobre el botón seleccionar se abrirá un buscador por el cual se podrá navegar por toda la memoria del ordenador seleccionando la ubicación y el archivo. Este fichero no será modificado ni cambiado de lugar. El nombre del archivo es “CNV1003.inp” y se encuentra en el Anexo G.

Archivo modificaciones: se debe introducir el archivo que contiene todos los cambios necesarios para pasar a otra configuración. Clicando sobre el botón seleccionar aparecerá un buscador de igual manera que en el caso anterior. Dicho fichero tampoco quedará modificado ni cambiado de lugar (Anexo A).

Archivo cinética: se debe introducir el archivo que contiene la cinética que se desee. La búsqueda se ejecuta de igual manera que en las entradas anteriores. Cabe destacar que



cada configuración tiene sus cinéticas correspondientes y que a la hora de escoger la cinética se debe asegurar que el ciclo escogido pertenece a la configuración seleccionada. Los ciclos están divididos entre principio de vida, mitad de vida y final de vida (Anexo B). Estos ficheros no sufrirán modificaciones.

Archivo modificado: esta opción está para poder crear el archivo final que se desee obtener. Si activamos el botón de seleccionar contiguo nos aparecerá un buscador. Deberemos escoger un lugar de la memoria y darle un nombre. De esta manera estaremos construyendo el archivo en el que más adelante obtendremos el resultado final y que utilizaremos para trabajar.

En la cabecera de este archivo saldrá especificada la configuración que se ha escogido. Después de cada línea modificada se encuentra un asterisco que le precede información sobre la configuración escogida. En las líneas cambiadas de cinética encontraremos la información del ciclo y época de vida escogido.

Ejecutar: activando dicho botón el programa realiza la acción de cambiar todas las líneas del archivo de Origen que estén en el archivo de Modificaciones y rescribirá todas las líneas de código en el archivo modificado, creado anteriormente. A la vez, si se ha escogido una cinética, cambiará todos los datos de cinética en el archivo resultante. Al acabar de ejecutarse el programa aparecerá una ventana indicando que ha finalizado. Clicando sobre el botón Terminar se concluirá la acción.

Si una de las entradas del programa está vacía o el archivo que se ha seleccionado es un archivo que no contiene información, aparecerá un aviso indicando el error cometido. Escoger la cinética es una acción opcional, si no se escoge un archivo de cinética, aparecerá un aviso indicando si se desea seguir con la ejecución o si se desea introducir un archivo para realizar el cambio de cinética.

Este programa ha sido creado para el Grupo de Estudios Termohidráulicos de la Sección de Ingeniería Nuclear. El programa es muy intuitivo y fácil de utilizar. En el Anexo G se adjunta el código creado con Visual Basic y el manual de usuario que facilita y complementa la información referente a la utilización del programa "Modificar".





Conclusiones

Con la realización de este proyecto se ha conseguido ampliar una base de datos necesaria para trabajar en la mejora del modelo actual de la planta de la Central Nuclear de Vandellós.

La base de datos se resume en la Matriz de Cualificación, que contiene los transitorios reales de planta que han tenido lugar en la central hasta hoy en día y son útiles para tareas de cualificación.

Hasta la fecha han tenido lugar cinco transitorios de estas condiciones en la Central Nuclear de Vandellós II, pero únicamente se disponía de la simulación de un transitorio con el nuevo modelo de planta. En este proyecto se han simulado los cuatro transitorios restantes utilizando el modelo actual. Comparando los resultados obtenidos con los datos de planta se ha podido garantizar que la simulación se ha efectuado de forma correcta.

Con el paso del tiempo la planta ha sufrido modificaciones con el fin de mejorar su funcionamiento y obtener más potencia. Estos cambios se reflejan en las distintas configuraciones que se han creado con el nuevo modelo, a partir de las cuales se ha obtenido el estado estacionario necesario para la simulación de transitorios.

En estos momentos se dispone de todos los estados estacionarios por los que ha pasado la planta y de la simulación de los transitorios ocurridos desde la apertura de la Central Nuclear de Vandellós II, lo que proporciona una amplia información sobre el funcionamiento de la planta durante estos años.

Para facilitar futuros estudios se ha creado el programa “Modificar” que permite obtener cualquier configuración a partir de la actual y escoger la cinética con la que se desea trabajar, de una manera intuitiva y sencilla.

Este proyecto amplía y simplifica los trabajos a realizar en el constante y necesario trabajo de mejorar el modelo actual de planta.





Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer especialmente la ayuda y los conocimientos aportados por mi director de Proyecto, Francesc Reventós.

También me gustaría agradecer la aportación de conocimientos por parte de Carles Llopis y la ayuda de todos los compañeros de la sala de becarios.

Dar las gracias a Jorge Baza por su gran ayuda en temas relacionados con la programación.

Y finalmente, agradecer especialmente a mi familia y amigos por el soporte moral y emocional que me han dado durante todos estos años de carrera.





Bibliografía

Referencias bibliográficas

- [1] IDAHO NATIONAL ENGINEERING LABORATORY. “RELA5/MOD3.2 code manual volume II. User’s guide and input requirements”. Idaho Falls, Junio 1995
- [2] SECCIÓN DE INGENIERÍA NUCLEAR (UPC). ÁREA DE ESTUDIOS TERMOHIDRÁULICOS “Nota de cálculo del modelo de la C.N. Vandellós II con el código RELAP/MOD3.2”. Barcelona, Marzo 2003.
- [3] PABLO MORENO S.A. COMPAÑÍA ESPAÑOLA DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA “Informe del proceso de validación de CNV II para el código Relap5/Mod3.2”. Barcelona, Febrero 1998.
- [4] SECCIÓN DE INGENIERÍA NUCLEAR (UPC). ÁREA DE ESTUDIOS TERMOHIDRÁULICOS “Simulación de un rechazo de carga del 100% al 50%”. Barcelona, Marzo 2003
- [5] SECCIÓN DE INGENIERÍA NUCLEAR (UPC). ÁREA DE ESTUDIOS TERMOHIDRÁULICOS “Informe de confluencia modelos Ascó y Vandellós II con RELAP”. Barcelona, Junio 2002.

Bibliografía complementaria

- [1] Página Web: www.anav.es
- [2] “Descripción SNGV” – Westinghouse. 1983
- [3] “Informe final de seguridad C.N. Vandellós II”.
- [4] “Cálculos para IPE/APS CNV II”. 1993
- [5] “Curso de Análisis de transitorios y accidentes” – Westinghouse-
- [6] “Curso de termohidráulica de centrales PWR” – Tecnatom. 1986





